

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO EN LA EXTRACCIÓN DE ACEITE
ESENCIAL DE LA HOJA DE ORÉGANO (*Lippia graveolens*), VARIANDO EL
TAMAÑO DE MUESTRA Y APLICANDO LOS MÉTODOS DE ARRASTRE
CON VAPOR E HIDRODESTILACIÓN A NIVEL LABORATORIO**

TESIS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR:

JONATHAN IVÁN SANDOVAL ARANA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 1999



HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO EN LA EXTRACCIÓN DE ACEITE
ESENCIAL DE LA HOJA DE ORÉGANO (*Lippia graveolens*), VARIANDO EL
TAMAÑO DE MUESTRA Y APLICANDO LOS MÉTODOS DE ARRASTRE
CON VAPOR E HIDRODESTILACIÓN A NIVEL LABORATORIO,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 15 de abril de 1999.

Jonathan Iván Sandoval Arana

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
VOCAL 1º	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL 2º	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodriguez
VOCAL 3º	Ing. Jorge Benjamín Gutierrez Quintana
VOCAL 4º	Br. Oscar Stuardo Chinchilla Guzmán
VOCAL 5º	Br. Mauricio Alberto Grajeda Mariscal
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos Baiza de Illescas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN
GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR	Ing. Otto Raúl de León de Paz
EXAMINADOR	Ing. Cesar Alfonso García Guerra
EXAMINADOR	Ing. Manuel Gilberto Galván Estrada
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos Baiza de Illescas



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Guatemala 27 de octubre de 1999

Ing. Otto de León
Director de Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente

Por este medio me permito informarle que he revisado el informe final de tesis del estudiante de la carrera de Ingeniería Química Jonathan Iván Sandoval Arana, carnet 94-16865, titulado **“Evaluación del rendimiento en la extracción de aceite esencial de la hoja de orégano (*Lippia graveolens*), variando el tamaño de muestra y aplicando los métodos de arrastre con vapor e hidrodestilación a nivel laboratorio”**.

He encontrado el trabajo satisfactorio por lo que lo remito a su consideración para proseguir con los trámites correspondientes.

Atentamente:

Ing. Qco. Telma Cano
Asesora de tesis
Colegiado No 433





FACULTAD DE INGENIERIA

Ref. WGAM.0049.99

Guatemala, 29 de octubre de 1999

Ingeniero
Otto Raúl de León de Paz
Director
Escuela Ingeniería Química
Presente.

Estimado Ingeniero de León:

Atentamente me dirijo a usted para responder a su oficio sin referencia de fecha 23 de septiembre del presente año, mediante el cual se solicita revisar el informe final de tesis del estudiante universitario JONATHAN IVAN SANDOVAL ARANA, titulado "EVALUACION DEL RENDIMIENTO EN LA EXTRACCION DE ACEITE ESENCIAL DE LA HOJA DE OREGANO (*Lippia graveolens*), VARIANDO EL TAMAÑO DE MUESTRA Y APLICANDO LOS METODOS DE ARRASTRE CON VAPOR E HIDRODESTILACION A NIVEL LABORATORIO" el cual fue asesorado por la Ingeniera Telma Maricela Cano Morales.

Al respecto, me permito informarle que después de haber terminado la revisión del mencionado informe y de haberle hecho las correcciones pertinentes, considero que llena los requisitos para ser aprobada por parte de la Escuela como trabajo de tesis, por lo cual se lo remito y lo pongo a su consideración.

Agradeciendo la atención a la presente, le saluda respetuosamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

M. en Ing. Williams G. Alvarez Mejia
Profesor Titular V
Area de Operaciones Unitarias



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Química, Ing. Otto Raúl de León de Paz, después de conocer el dictamen del Asesor con el Visto Bueno del Jefe de Departamento, al trabajo de Tesis del estudiante Jonathan Iván Sandoval Arana, titulado: **EVALUACION DEL RENDIMIENTO EN LA EXTRACCION DE ACEITE ESENCIAL DE LA HOJA DE OREGANO (*Lippia graveolens*), VARIANDO EL TAMAÑO DE MUESTRA Y APLICANDO LOS METODOS DE ARRASTRE CON VAPOR E HIDRODESTILACION A NIVEL LABORATORIO**, procede a la autorización del mismo.


Ing. Otto Raúl de León de Paz
DIRECTOR ESCUELA INGENIERIA QUIMICA



Guatemala, noviembre de 1,999.

/ga



FACULTAD DE INGENIERIA

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de Tesis titulado: **EVALUACION DEL RENDIMIENTO EN LA EXTRACCION DE ACEITE ESENCIAL DE LA HOJA DE OREGANO (*Lippia graveolens*), VARIANDO EL TAMAÑO DE MUESTRA Y APLICANDO LOS METODOS DE ARRASTRE CON VAPOR E HIDRODESTILACION A NIVEL LABORATORIO**, del estudiante **Jonathan Iván Sandoval Arana**, procede a la autorización para la Impresión de la misma.

IMPRIMASE:


Ing. Herbert René Miranda Barrios
DECANO



Guatemala, noviembre de 1,999.

/ga

DEDICATORIA

A DIOS:

Quien siempre me ha dado esperanza, fuerza y luz en los momentos difíciles.

A LUCÍA MÉNDEZ:

Por la gran ayuda y apoyo brindados a lo largo de cuatro años y en especial en la realización de este trabajo.

A MI FAMILIA:

A todos y cada uno por haberme ayudado a llegar hasta este punto.

LAURA Y ABELINO ARANA MORALES (Q.E.P.D):

Por su cariño y comprensión cuando más los necesité.

AGRADECIMIENTOS

A la ingeniera Telma Cano, por su valiosa y excelente asesoría en la realización de este trabajo.

Al ingeniero Williams Álvarez, por la revisión de este trabajo.

A todos los que de una forma u otra estuvieron involucrados en la realización de esta tesis.

A la Universidad de San Carlos de Guatemala.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	iv
LISTA DE SÍMBOLOS	vi
GLOSARIO	vii
RESUMEN	ix
INTRODUCCIÓN	xi
JUSTIFICACIONES	xiii
OBJETIVOS	xiv
HIPÓTESIS	xv
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1 Aceites esenciales	1
1.2 El orégano	2
1.2.1 Nombre científico	2
1.2.2 Sinónimos	2
1.2.3 Familia botánica	2
1.2.4 Nombres vulgares en los países iberoamericanos	3
1.2.5 Descripción taxonómica	3
1.2.6 Diagnósis taxonómica	3
1.2.7 Hábito o forma de vida	3
1.2.8 Anualidad-Perennidad	4
1.2.9 Distribución geográfica	4
1.2.10 Ecología	5
1.2.10.1 Hábitat	5
1.2.10.2 Altitud	5

2.4.3	Unidad experimental	19
2.4.4	Manejo del experimento	19
2.5	Métodos experimentales	20
2.5.1	Arrastre con vapor	20
2.5.2	Hidrodestilación	21
3.	RESULTADOS	22
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	24
	CONCLUSIONES	29
	RECOMENDACIONES	30
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31
	BIBLIOGRAFÍA	32
	APÉNDICE	33

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

No	TÍTULO	PÁGINA
1	% de rendimiento en la extracción de aceite esencial en función del tamaño de muestra.	22
2	Cromatograma del aceite esencial de orégano obtenido por el método de hidrodestilación.	42
3	Cromatograma del aceite esencial de orégano obtenido por el método de arrastre con vapor.	44
4	Diagrama del equipo utilizado en el método de hidrodestilación.	46
5	Diagrama del equipo utilizado en el método de arrastre con vapor	47
6	Diagrama de bloques del proceso	48
7	Ilustración del orégano (<i>Lippia graveolens</i>) .	49

TABLAS

No	TÍTULO	PÁGINA
I	Principales datos de ubicación de los sitios de colecta de orégano (<i>Lippia graveolens</i>).	4
II	Resultados de las cromatografías.	23
III	Volumen del aceite esencial de orégano extraído por el método de hidrodestilación.	33
IV	Volumen del aceite esencial de orégano extraído por el método de arrastre con vapor.	33
V	Masa del aceite esencial de orégano extraído por el método de hidrodestilación.	34
VI	Masa del aceite esencial de orégano extraído por el método de arrastre con vapor.	34
VII	Promedio de masa obtenida y rendimiento del aceite esencial de orégano obtenido por el método de hidrodestilación.	35
VIII	Promedio de masa obtenida y rendimiento del aceite esencial de orégano por el método de arrastre con vapor.	35
IX	Sumatoria entre muestras y réplicas.	38
X	Sumatoria entre muestras y métodos.	39
XI	Análisis de varianza.	41
XII	Tiempos de retención y áreas del cromatograma del aceite esencial de orégano obtenido por el método de hidrodestilación.	43
XIII	Tiempos de retención y áreas del cromatograma del aceite esencial de orégano obtenido por el método de arrastre con vapor.	45

LISTA DE SÍMBOLOS

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
- Σ	Sumatoria
- ρ	Densidad en gramos por centímetro cúbico
- g	Gramos
- m	Metro
- cm	Centímetro
- cm^3	Centímetro cúbico
- ml	Mililitro
- mm	Milímetro
- H_0	Hipótesis nula
- H_1	Hipótesis alterna
- V	Variación total
- V_s	Variación de interacción
- V_c	Variación en columnas
- V_r	Variación en filas
- V_e	Variación residual o aleatoria
- X	Media de las filas
- T	Sumatoria total de las muestras
- a	Número de filas
- b	Número de columnas
- R	% de rendimiento
- T_m	Tamaño de muestra
- r	Coefficiente de correlación

GLOSARIO

- Ápice** Término usual empleado en botánica en el sentido corriente en cuanto se refiere al ápice geométrico que puede coincidir con el ápice orgánico que es la cima o parte culminante de la hoja.
- Brácteas** Órgano foliáceo situado en la proximidad inferior de las flores y distinto por su forma, tamaño, consistencia o color, de las hojas normales y de las que transformadas constituyen el cáliz o corola.
- Crenado** Calificativo de una hoja crenada o con hendiduras o canales en la página de la hoja.
- Envés** Cara inferior de la hoja.
- Estrigoso** Aplícase a los tallos, hojas u otros, cubiertos de pelos rígidos o de notables asperezas.
- Fitofarmacéutico** Relacionado con medicamentos para combatir enfermedades de la planta.
- Haz** Página superior de la hoja.

Lanceoladas	Se aplica a los órganos laminares como: hojas, brácteas, pétalos; tienen forma de lanza y son angostamente elípticos y apuntados en ambos extremos.
Oblonga	Calificativo de forma más largo que ancho o excesivamente largo.
Ovado	Se dice de los órganos laminares, como hojas, pétalos; en forma de huevo, colocado de manera que su parte más ancha corresponde a la inferior del órgano.
Pecíolo	Pezón o rabillo que une la lamina de la hoja a la base foliar o al tallo.
Pilosa	Adjetivo de peloso, es decir que tiene pelo en general.
Pubescencia	Calidad de pubescente o velloso, tendencia a cubrirse de vello.
Viloso	Calificativo de superficie u órgano con pelo largo.

RESUMEN

Se realizó la extracción del aceite esencial de orégano (*Lippia graveolens*) por los métodos de arrastre con vapor e hidrodestilación, tomando como variables para cada método los tamaños de muestra (50, 125 y 200 g).

La materia prima fue sometida primero a un secado en un secador solar y posteriormente se molió para tener un tamaño de muestra homogéneo y facilitar la extracción.

Se diseñó un experimento factorial (3x2) completamente al azar, donde se dejó constante el tiempo de extracción (1.5 hrs) y el tamaño de partícula a utilizar (2 mm).

Al concluir el experimento, se logró evaluar cómo se da la variación en los rendimientos obtenidos al variar el método de extracción y los tamaños de muestra. Resultados que se observan en la gráfica 1 de la sección de resultados.

Para la evaluación de las hipótesis se utilizó un análisis de varianza para un experimento factorial en el cual se aplicaron 3 repeticiones. Con dicho análisis se llegó a determinar que no es significativa la diferencia en los rendimientos obtenidos entre los dos métodos, pero que sí lo era la variación en el tamaño de las muestras utilizadas, con un índice de confiabilidad del 95% para las condiciones dadas en el experimento.

Se obtuvo un aceite con densidad 0.911 gr/cm^3 y las siguientes ecuaciones que correlacionan el comportamiento del rendimiento respecto al tamaño de muestra.

Para hidrodestilación $R = -0.045 \cdot Tm^2 + 0.255 \cdot Tm + 0.071$ y para arrastre con vapor $R = -0.095 \cdot Tm^2 + 0.355 \cdot Tm + 0.078$, ambos con un coeficiente de correlación de 0.99.

Del análisis cromatográfico realizado se logró determinar que por ambos métodos se obtienen aceites con composiciones muy similares, encontrándose variaciones significativas en pocos de los componentes.

INTRODUCCIÓN

Nuestro país cuenta con una gran cantidad de recursos vegetales de los cuales sólo algunas especies se comercializan y en su mayoría estas especies no han sido sometidas a ningún proceso químico o físico significativo, procesos con los cuales se aumentaría la utilidad obtenida, posibilitando su factibilidad técnica de aprovechamiento.

La extracción de aceites esenciales tiene un vasto campo de aplicación en la industria guatemalteca ya que se pueden utilizar en muchos procesos donde se pueden aprovechar sus propiedades medicinales y sus propiedades organolépticas.

Existen varios métodos para la extracción de aceites esenciales, como son los que incluyen la maceración, la extracción con solventes, la extracción con gases licuados, el de arrastre con vapor y el de hidrodestilación, siendo éstos dos últimos los principales y los que se utilizaron en la investigación.

En el método de arrastre con vapor se hace pasar vapor a través de la muestra del material, el cual arrastra el aceite esencial, luego se condensa y por último se separan las fases inmiscibles.

La hidrodestilación difiere en que se agrega agua a la muestra y se hace ebullición, los vapores producidos se condensan y se separan las fases.

En el estudio se evaluó si existe o no variación del rendimiento del aceite esencial obtenido de la hoja del orégano (**Lippia graveolens**) y en que forma ocurre al variar el tamaño de la muestra. Principalmente se pudo evaluar con que método se obtiene un mayor rendimiento en la extracción.

Se tomó como materia prima el orégano (**Lippia graveolens**) debido primero a que es una planta nativa de la región centroamericana y apreciada por su agradable aroma y sabor, atribuyéndosele también numerosas propiedades curativas, además de poseer un porcentaje relativamente alto de aceite esencial.

JUSTIFICACIONES

Guatemala cuenta con vastos recursos vegetales que son poco explotados y algunos se comercializan sin llevar a cabo sobre ellos algún proceso importante para obtener mayores beneficios.

Dado que el orégano (**Lippia graveolens**) está distribuido geográficamente en el sur de Estados Unidos, México y Centro América, se cuenta con un amplio mercado en el resto del mundo para su comercialización.

El orégano (**Lippia graveolens**) es una planta de gran interés debido a que es apreciada popularmente por su agradable aroma y sabor, además de atribuírsele muchas propiedades medicinales.

Entre los métodos de extracción de aceite esencial son de gran uso e importancia el de arrastre con vapor y el de hidrodestilación, debido al alto rendimiento obtenido, por lo que se hace necesario tener una base de comparación entre éstos.

El orégano (**Lippia graveolens**) posee un porcentaje relativamente alto de aceite esencial (1.8%).

OBJETIVOS

Objetivo general

Obtener el aceite esencial de las hojas del orégano (**Lippia graveolens**) por los métodos de arrastre con vapor e hidrodestilación.

Objetivos específicos

Determinar el rendimiento del aceite esencial de la hoja del orégano (**Lippia graveolens**), variando el tamaño de muestra por el método de arrastre con vapor.

Determinar el rendimiento del aceite esencial de la hoja del orégano (**Lippia graveolens**), variando el tamaño de muestra por el método de hidrodestilación.

Diseñar y armar el equipo para realizar la extracción del aceite esencial del orégano (**Lippia graveolens**), tanto por el método de arrastre con vapor como por el método de hidrodestilación.

HIPÓTESIS

El rendimiento en la extracción del aceite esencial del orégano (*Lippia graveolens*) depende tanto del método a utilizar como del tamaño de muestra.

Hipótesis estadística

H0a: No existe variación significativa en los porcentajes de rendimiento obtenidos, sometidos a diferentes tamaños de muestra.

H1a: Si existe variación significativa en los porcentajes de rendimiento obtenidos, sometidos a diferentes tamaños de muestra.

H0b: No existe variación significativa en los porcentajes de rendimiento obtenidos, sometidos al método de arrastre con vapor y al método de hidrodestilación.

H1b: Si existe variación significativa en los porcentajes de rendimiento obtenidos, sometidos al método de arrastre con vapor y al método de hidrodestilación.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Aceites esenciales

Los aceites esenciales o esencias vegetales son mezclas de un número variable de sustancias orgánicas aromáticas. Por lo general se obtienen por arrastre con vapor. Hay algunos que se extraen con grasas, con otros disolventes orgánicos o por expresión. (Ref. 1)

Los aceites esenciales han sido durante mucho tiempo (y hasta cierto punto continúan siéndolo) las materias primas básicas de los fabricantes de perfumes. También son materias básicas para los que elaboran materias saponíferas, aunque quizás en menor medida.

Estos aceites constituyen una valiosa fuente de ingresos, aunque de carácter más bien secundario, para gran número de pequeños agricultores y negociantes en primera escala en países en desarrollo, aunque existe también una producción más organizada a escala de plantaciones.

Los aceites esenciales por estar altamente concentrados, son productos de reducido volumen y elevado valor cuya preparación en muchos casos no presenta dificultades técnicas y cuyo transporte a los puntos de destino de ultramar es invariablemente barato.(Ref. 2)

En un aceite esencial pueden encontrarse hidrocarburos alicíclicos y aromáticos, así como sus derivados oxigenados; alcoholes, aldehídos, cetonas, ésteres, etcétera y también sustancias azufradas y nitrogenadas.

Las propiedades fisicoquímicas de los aceites esenciales o esencias son muy diversas, puesto que el grupo engloba sustancias muy heterogéneas.

Los aceites esenciales son empleados en perfumería, en la industria alimenticia o como fuentes de materias primas. Respecto a su distribución un aceite esencial puede localizarse en un determinado órgano vegetal, flores, hojas, frutos y hasta raíces o en toda la planta.

La composición puede ser igual o diferente.

El rendimiento de esencia obtenido de una planta varía de unas cuantas milésimas por ciento de peso vegetal hasta 1-3%. La composición de una esencia puede cambiar con la época de recolección, el lugar geográfico o pequeños cambios genéticos. (Ref. 1)

1.2 El orégano

1.2.1 Nombre científico

Lippia graveolens HBK

1.2.2 Sinónimos

Lantana origanoides Mart. & Gal.; *Lippia berlandieri* Schauer;
Goniostachyum graveolens Small.

1.2.3 Familia botánica

Verbenaceae.

1.2.4 Nombres vulgares en los países iberoamericanos

Orégano, mejorana, orégano de monte (México, Guatemala, El Salvador, Honduras, Costa Rica).

1.2.5 Descripción taxonómica

Arbusto delgado de hasta 2 m de alto, las ramas con pubescencia cortopilosa; hojas con peciolo de 5-10 cm de largo, las láminas oblongas a elípticas u ovado a ovado-oblongas, 2-4 cm de largo, usualmente obtusas o redondeadas en el ápice, algunas veces agudo, redondeadas o subcordadas en la base, densamente suave-pilosas en el haz, suave al tacto, glandular y densamente tomentosa o pilosa en el envés, el margen finamente crenado; pedúnculos 2-6 en la axila de la hoja, 4-12 mm de longitud; flores en espigas subglobosas a oblongas, 4-120 mm de largo, brácteas 4 gruesas, obado a lanceoladas, agudas, glandulares y densamente pilosas, cáliz 1-2 mm de largo, glandular y viloso; corola blanca, el tubo estrigoso, 3-6 mm de largo. (Ref. 1)

1.2.6 Diagnósis taxonómica

Arbusto de hasta 2 m de altura, ramas y hojas pubescentes, hojas oblongo o elípticas y ovado a ovado-oblongas, de 2 a 4 cm de largo con margen finamente crenado, inflorescencias en espiga subglobosa a oblongas de 4 a 12 mm de largo por cuatro brácteas en la base, flores con corola blanca. (Ref. 3)

1.2.7 Hábito o forma de vida

Arbusto erecto.

1.2.8 Anualidad- Perennidad

Perenne

1.2.9 Distribución geográfica

Originaria de América. Se distribuye desde Baja California y el sur de Texas hasta Nicaragua. En Guatemala se ha descrito en El Progreso, Petén y Zacapa, se ha cultivado en Chimaltenango y Escuintla. (Ref. 4)

Tabla I. Principales datos de ubicación de los sitios de colecta de orégano (*Lippia graveolens*).

Lugar	Municipio	Depto.	Latitud	Longitud	Altitud msnm	Zona de vida
Asunción Mita	A.M.	Jutiapa	ND	ND	470	2
Rio de la Virgen	Jutiapa	Jutiapa	14°18'25"	89°53'40"	960	1
Agua Caliente	Zacapa	Zacapa	14°56'55"	89°31'10"	200	4
El Oreganal	Teculután	Zacapa	15°00'38"	90°42'32"	300	2
Subinal	El Progreso	El Progreso	14°51'15"	90°08'05"	440	2
Buena Vista	S.M. Chicaj	B. Verapaz	15°03'40"	90°24'02"	1425	2
Cerro Orégano	San Jacinto	Chiquimula	ND	ND	ND	2
Los Platanares	Guasacapán	Santa Rosa	14°04'04"	90°26'22"	240	3

FUENTE: ICTA. **Disciplina de Recursos Fitogenéticos**

- Zona de vida:
1. Bosque húmedo subtropical (templado)
 2. Bosque seco subtropical
 3. Bosque muy húmedo subtropical (cálido)
 4. Monte espinoso subtropical

ND: No disponible (Ref. 3)

1.2.10 Ecología

1.2.10.1 Hábitat

Se encuentra principalmente en la falda de los cerros, en lugares muy pendientes, con suelos pesados, pedregosos y de ambiente seco. Las áreas se encuentran densamente pobladas y se pueden identificar como verdaderos bosques de orégano.

Se encuentran plantas de diferente tamaño y en forma aislada, lo que hace suponer su multiplicación natural por semilla.

1.2.10.2 Altitud

De 200 a 400 m sobre el nivel del mar.

1.2.10.3 Clima

Crece en climas secos, de acuerdo con la clasificación de zonas de vida de Holdrige en las zonas de vida bosque seco subtropical y monte espinoso subtropical. (Ref. 1)

1.2.10.4 Suelos

En condiciones naturales crece en suelos arcillosos pesados y pedregosos. Bajo condiciones de cultivo se desarrolla bien en suelos franco y francoarenosos.

1.2.11 Requerimientos ambientales

Temperatura de 20 a 25°C.

Precipitación de 400 a 900 mm anuales, distribuidos de mayo a octubre.
(Ref. 1)

1.2.12 Usos etnomédicos

La decocción o infusión de hojas se usa por vía oral para tratar anemias, afecciones gastrointestinales (amebiasis, antiséptico intestinal, cólico, diarrea, disentería, dispepsia, estreñimiento, indigestión) y respiratorias (asma, bronquitis, catarro, influenza, laringitis, pleuresía, resfrío, tos, tos ferina, tuberculosis), hidropesía, ictericia, en vino se toma como expectorante y tónico. La decocción en leche se usa para tratar asma y bronquitis; el jarabe de las hojas secas se usa para tratar diabetes, disentería, catarro y resfrío. En homeopatía se usa para condiciones histéricas.

Tópicamente la decocción se aplica para la cicatrización de heridas, llagas e inflamaciones en la garganta; en baños se usa para fortalecer niños debilitados, combatir la gripe y para aliviar el prurito y la sarna; en cataplasma para madurar abscesos, calmar neuralgias y aliviar induraciones, cáncer y tumores; en fricciones y baños se usa como calmante. La planta fresca macerada en aceite se aplica a los dolores reumáticos; la maceración alcohólica contra ataques.

Se le atribuye propiedad antioxidante, antiséptica, aromática, calmante, carminativa, cicatrizante, desinflamatoria, daforética, digestiva, diurética, emenagoga, espasmolítica, estimulante, estomáquica, expectorante, pectoral, sudorífica y tónica. (Ref. 1)

1.2.13 Otros usos populares

Por su sabor, aroma y valor nutritivo las hojas secas se usan para sazonar carne, pescado, embutidos, ensaladas, guacamol, pozol, salsas y licores; además se usa como planta de jardín, aromática, cosmética y para preparar arreglos florales.

El aceite esencial tiene uso en perfumería, jabonería y cosmética. Las semillas se usan para extracción industrial de ácidos grasos, con un rendimiento de 29.2%. (Ref. 6)

1.2.14 Farmacología

1.2.14.1 Experimental

Estudios antibacterianos demuestran que la tintura de hojas de **L. Graveolens** es activa contra *E. Coli*, *P. Neruginosa*, *S. Tuphi*, *S. Flexneri*, *S. Aureus*, *S. Pneumoniae* y *S. Pyogenes*, pero inactiva contra *H. Influenza*; la infusión de hojas demostró actividad contra los mismos organismos. Estudios antifúngicos demuestran que los extractos con diclorometano y etanol son activos contra *C. A. bicans*, *A. Flavus*, *E. Floccosum*, *M. Gypseum* y *T. Rubrum*, pero inactivos contra *C. Neoformans*. (Ref. 4)

1.2.15 Composición química

El tamizaje fitoquímico de hojas de **L. Graveolens** contiene: aceite esencial (1.8%), glicósidos, saponínicos, taninos y triterpenos, celulosa, pigmento y elementos minerales; la corteza y raíz contienen glicósidos, saponínicos, aceite esencial y taninos. Las hojas contienen además flavononas y lapacheno.(Ref. 1)

1.2.16 Farmacognosia

La materia médica son las hojas y sumidades floridas secas, que deben reunir las mismas características fisicoquímicas y sanitarias de la materia prima usada para la elaboración de productos fitofarmacéuticos.

En la revisión realizada de la literatura se encontraron pocas referencias sobre la relación entre la actividad farmacológica atribuida a la composición química, no se encontraron estudios tendientes a la formulación de productos fitofarmacéuticos.

El aceite esencial de **L. Graveolens** tiene densidad 0.890-0.922, índice de refracción 1.479-1.498; contiene timol (40-60%), p-cimeno (7.7-9.2%), 1,8-cneol (4.5-4.8%), carvacrol (3.1-21%), γ -terpineo (3.1-3.9%), metil-timol (2.4-3.8%), mirceno (0.9-2.5%), Δ^3 -careno (0.9-1.5%), cariofileno (0.8-1.2%), linalool (0.7-1.3%) y al menos 34 elementos más en menores cantidades. (Ref. 4)

1.2.17 Toxicología

Los extractos acuoso y etanólico de hojas de **L. Graveolens** (500 ppm) presentan cierta toxicidad dosis-dependiente contra peces del género *Nollinesia*. Su administración durante el embarazo está contraindicada, ya que puede producir aborto. (Ref. 1)

1.2.18 Indicaciones terapéuticas

Por su acción antiséptica, digestiva y expectorante está indicado su uso por vía oral en el tratamiento de inapetencia, digestión lenta, meteorismo, tos, faringitis, sinusitis, bronquitis, y aminorrea.

Se recomienda administrar tres veces al día en dosis de 2-4 g en infusión, 1-3 ml de extracto fluido, 4-6 gotas de esencia, 1-2 cápsulas de 50 mg, 0.1-0.4 g en supositorios.

Tópicamente se aplican inhalaciones húmedas y aerosoles para tratar afecciones respiratorias. Por sus propiedades antisépticas y cicatrizantes la infusión y esencia en linimento y pomadas están indicadas para tratar heridas, tinea y dolores reumáticos; la cataplasma se aplica en los abscesos varias veces al día.

Por su acción antiséptica puede combinarse con eucalipto, nance, tomillo y zarzaparrilla; por su acción digestiva con anís, hierbabuena, manzanilla y pericón; por su acción emenagoga con altamiza, borraja, manzanilla, milenrama y ruda; y por su acción expectorante con hierbabuena, eucalipto, marrubio, orozus, sauco y tomillo. (Ref. 1)

1.3 Métodos de extracción

1.3.1 Arrastre con vapor

Este método es uno de los más utilizados para la extracción de aceites esenciales. En éste, el vapor se hace pasar directamente a través de la materia prima, arrastrando el aceite esencial. Luego se condensa el vapor y se separan las dos fases por decantación.

El material vegetal debe ser cargado en el aparato de extracción, puede ser de cualquier tipo excepto material finamente pulverizado. Por lo cual se recomienda utilizar material previamente molido pero no demasiado fino. (Ref. 6)

La hidrólisis de los constituyentes del aceite esencial es generalmente ligera con este método y el rendimiento es bueno. La calidad del aceite es buena si la operación es conducida apropiadamente.

La desventaja es que requiere de bastante experiencia y por lo común se suele quemar el aceite si no se aplica bien el procedimiento. (Ref. 6)

En método de arrastre con vapor es normalmente suficiente pasar dos kilogramos de vapor por cada uno o dos kilogramos de materia vegetal, o una cantidad mayor o menor de acuerdo con la proporción de aceite esencial y la presión de vapor de los constituyentes. (Ref. 7)

1.3.2 Hidrodestilación

Prácticamente no difiere del procedimiento anterior, pues sólo se agrega agua en el fondo del recipiente y en la mayor parte de los casos, a excepción de cuando se emplea el vapor recalentado durante la destilación por arrastre con vapor, éste se condensa en parte.

El contacto del material vegetal con el agua hirviente suele facilitar las alteraciones del aceite esencial, originándose principalmente productos de hidrólisis. Por esto es conveniente colocar el material sobre una malla o placa perforada que está un poco más arriba del fondo del destilador donde se encuentra el agua en ebullición.

En este método es probable que no se obtenga un aceite de una calidad similar a la del obtenido por arrastre con vapor ya que tienden a hidrolizarse algunos de los componentes.

El tiempo de operación es un poco mayor comparado con otros métodos y también tiene la desventaja de que imposibilita el mecanismo de automatización en el proceso. (Ref. 8)

1.4 Materia prima

1.4.1 Reducción de la materia prima

La adecuada preparación del material vegetal es de gran importancia en la producción de los aceites esenciales. La materia prima que se emplea con más frecuencia se presenta en forma de sólidos.

Para aumentar la superficie de contacto y obtener la forma más apta de extracción, la operación preliminar a la misma es generalmente la trituración. La trituración expone más glándulas de aceite esencial y reduce el grueso del material; esto permite una extracción más rápida, mayor rendimiento y mejor calidad del aceite esencial, al mismo tiempo que menor consumo de solvente.

El grado de trituración para cada planta se debe aprender por experiencia. Es claro que el material desmenuzado debe ser destilado lo más pronto posible para reducir al mínimo la pérdida de aceite esencial por evaporación.

Se debe emplear el seccionamiento que consiste en la división de los sólidos por medio de cortadoras y luego empleando una banda de cuchillas. También se puede emplear el proceso de percusión cuyo efecto de rompimiento se realiza por golpes bruscos de martillos.

La mayor parte del aceite esencial fácilmente extraíble proviene de las células que se rompen durante los procesos de trituración, cocción, presión y laminado, el cual es obtenido por disolución; la fracción más difícil de extraer proviene de las células enteras o parcialmente rotas y es el obtenido por difusión.

1.4.2 Factores que afectan el rendimiento de los aceites esenciales

Entre los factores que intervienen directamente en el rendimiento de la producción de aceites esenciales se pueden enumerar los siguientes:

Tipo de materia prima: se refiere a las características genéticas de la planta, ya que existe diferencia aún dentro de las diferentes familias; además la materia prima también está influida por el lugar y la época de producción, por la maduración o edad de la planta, de las hojas y por la limpieza en el corte, enfermedades de la planta, etc.

Tiempo de secado: dependiendo de este tiempo de secado, la planta tendrá más o menos cantidad de agua por lo que el rendimiento se ve influido.

Tamaño de partícula: el área de transferencia y la cantidad de compartimientos abiertos depende de ese factor, así como el flujo de vapor en los métodos de arrastre con vapor.

Tiempo de extracción: se refiere al tiempo del proceso de extracción, en el cual el aceite de la planta es extraído gradualmente.

Método de extracción: se refiere al tipo de método utilizado.

Características del equipo de extracción: tamaño del equipo, material de construcción, etc.

Características de los flujos: se refiere a la cantidad de materia prima utilizada, el volumen y la pureza del solvente utilizado, la cantidad de agua o vapor utilizado, su temperatura y presión.

1.4.3 Tratamiento de los aceites esenciales

Los aceites esenciales se obtiene en forma cruda conteniendo impurezas suspendidas y apreciable contenido de mezclas, las cuales degradan su calidad.

La presencia de impurezas afecta el almacenamiento, calidad del aceite y acelera la polimerización. Para la eliminación de humedad se deben adicionar agentes secantes como el sulfato de sodio, permaneciendo el aceite por varias horas, pasando luego por filtración. Los aceites esenciales son frecuentemente rectificadas o destilados para remover los constituyentes indeseables. Para evitar la degradación del aceite esencial se destila al vacío.

Los tres principales peligros a que están sometidos los aceites esenciales son: el aire, la luz y el calor. El oxígeno del aire tiene un efecto oxidante sobre los aceites almacenados, mientras que la luz también afecta el color y la fragancia de los aceites, debido, según la mayoría de los autores, probablemente a la polimerización. El calor actúa como catalítico acelerando estos procesos indeseables. Es pues de mayor importancia que cuando se almacenen aceites esenciales estos tres factores sean excluidos al máximo. Los recipientes deberán estar completamente llenos y herméticamente cerrados. (Ref. 8)

1.5 Análisis del aceite esencial

El análisis químico de los extractos de plantas es muy importante en el control de la calidad. Después de que la identidad del material inicial ha sido establecido, la investigación cuantitativa y cualitativa puede empezarse.

BIBLIOGRAFIA

1. BERBRAYER, David. "Switch-activated electrically controlled prosthesis following a closed head injury", **Journal of Prosthetics and Orthotics**. (USA). (2): 48-51. 1994.
2. BRENNER, Carl. "Electronic limbs for infants and pre-school children", **Journal of Prosthetics and Orthotics**. (USA). (4): 184-190. 1991.
3. MIMS, Forrest. "amp-op", **Engineer's mini-notebook**. (USA). (9): 30-45. 1997.
4. MORRIS, Mano. **Diseño digital**. México: Ed. Prentice Hall, 1987. 491 pp.
5. MUCCIO, Philip. "Electronic Orthoses: Technology, prototypes and practices", **Journal of Prosthetics and Orthotics**. (USA). (1): 3-17. 1989.
6. PRITHAM, Charles. "Research and technology in prosthetics and orthotics", **Journal of Prosthetics and Orthotics**. (USA). (3): 88-91. 1994.
7. WHITSON, James. **Circuitos electrónicos con aplicaciones practicas**. España: Ed. Paraninfo, 1991. 349 pp.
8. ZAGZEBSKI, James. **Essentials of Ultrasound Physics**. Estados Unidos: Ed. Mosby, 1996. 210 pp.

RECOMENDACIONES

1. Es necesario que personas en el campo de la ingeniería electrónica utilicen la tecnología que existe para desarrollar aparatos con la finalidad de facilitarles la vida a personas con alguna discapacidad o en rehabilitación.
2. Utilizar algunos principios físicos en la implementación de equipo de ayuda a personas discapacitadas.
3. Que la utilización de aparatos de estimulación electrónica sea realizada únicamente por profesionales en el campo de la rehabilitación física; ya que el mal empleo de los mismos podría causar daños a músculos y nervios de la persona en rehabilitación.
4. Utilizar la investigación como una herramienta básica en el desarrollo de nuevos equipos para personas discapacitadas.
5. Emplear los principios utilizados en el diseño del bastón, planteado en este trabajo, para realizar nuevos aparatos o mejorar lo propuesto.

6. Actualmente en Guatemala no se ha incentivado a personas en el campo de la ingeniería electrónica, a desarrollar aparatos que faciliten la incorporación a la sociedad de personas discapacitadas.

7. Los fabricantes de prótesis electrónicas han mejorado la apariencia de los miembros artificiales y han disminuido su peso con respecto a las prótesis mecánicas.

CONCLUSIONES

1. En países industrializados se han desarrollado, en forma más funcional, aparatos para personas que han perdido algún miembro.
2. En Guatemala no existe actualmente ninguna institución que se dedique a la investigación con el fin de desarrollar aparatos de ayuda a personas discapacitadas.
3. Es posible realizar diseños de aparatos electrónicos, con la tecnología existente en el medio nacional, que contribuyan a facilitar la realización de diversas tareas a personas discapacitadas.
4. La tecnología para ayuda a personas discapacitadas y que necesitan rehabilitación se ha desarrollado implementado aparatos con elementos que se han desarrollado para otras tecnologías.
5. La mayoría de los aparatos fabricados, con el propósito de facilitarle las cosas a personas discapacitadas, no están al alcance de estas personas debido a los precios elevados.

El costo de bastones desarrollados en Estados Unidos con tecnología láser es de US\$3,000; el cual está totalmente fuera del alcance de la mayoría de las personas invidentes en Guatemala. Mientras que el costo de los bastones tradicionales varía entre Q100 y Q200. Según estadísticas proporcionadas por el Comité Prociegos y Sordomudos actualmente hay unos 110 mil guatemaltecos que sufren alguna deficiencia visual, mientras que hay más de ocho mil personas invidentes. Además, según la Organización Mundial de la Salud, en el mundo hay aproximadamente 45 millones de personas que padecen ceguera.

Tabla VIII. Costo de elementos del circuito

Cantidad	Descripción	precioUnidad	total
1	IC regulador 5V 7805	Q15.00	Q15.00
1	Interrupor de contacto de doble polo	Q12.00	Q12.00
5	Capacitores de 0.01 uF, 50 V	Q1.00	Q1.00
2	Baterias de 9 voltios	Q9.00	Q18.00
2	IC generador 555	Q7.00	Q14.00
1	IC TTL 7400, 4 compuertas NAND	Q4.50	Q4.50
3	Resistencias 10 kohm, 1/4W	Q0.45	Q1.35
2	Potenciómetros 50 kohm	Q5.00	Q10.00
4	Capacitores de 0.47 uF, 50 V	Q2.00	Q8.00
1	Capacitor de 10 uF, 50 V	Q2.00	Q2.00
1	IC amplificador operacional LM386	Q16.00	Q16.00
3	Potenciómetros 10 kohm	Q5.00	Q15.00
1	Capacitor de 220 uF, 50 V	Q2.00	Q2.00
1	tweeter piezoeléctrico	Q50.00	Q50.00
1	IC amplificador operacional LM358	Q21.50	Q21.50
1	Resistencia 1 Mohm, 1/4W	Q0.45	Q0.45
2	Resistencias 230 kohm, 1/4W	Q0.45	Q0.90
1	Resistencia 33 kohm, 1/4W	Q0.45	Q0.45
1	Resistencia 56 kohm, 1/4W	Q0.45	Q0.45
1	Microfono de cristal	Q150.00	Q150.00
2	IC amp operacional 741	Q10.00	Q20.00
1	Potenciómetro de 1 kohm	Q5.00	Q5.00
1	Capacitor de 0.02 uF	Q2.00	Q2.00
2	IC contadores binarios 74163	Q10.50	Q21.00
1	IC DAC 2056	Q110.00	Q110.00
3	Resistencias de 5 kohm	Q0.45	Q0.45
1	IC VCO 994	Q14.85	Q14.85
1	Transistor 2N2222	Q4.00	Q4.00
1	Capacitor de 4.7 uF	Q2.00	Q2.00
1	Diodo 1N914	Q4.00	Q4.00
1	Relay de 9 voltios	Q24.00	Q24.00
	Tarjeta de impreso y accesorios	Q150.00	Q150.00
	Total		Q699.90

Realizando los cálculos anteriores se obtiene que la frecuencia del oscilador secundario debe tener un valor aproximado de 4000 Hz. Los tiempos en alto y bajo del oscilador T1' y T2' se establecen a un valor del 50% para cada uno. Esto es T1' y T2' son iguales a 0.000125 seg. Fijando el valor de R7 en 10 k Ω y utilizando las mismas fórmulas que para el oscilador primario se calcula el valor de C12 que es de 0.02 μ F. Se coloca un potenciómetro de 1 k Ω , P5, para realizar ajustes de frecuencia.

El circuito del oscilador controlado por voltaje 994 tiene una frecuencia de operación central que está dada por la fórmula $F_o = (2/R_{11}C_{13})((V^+ - V_c)/V^+)$, donde V^+ es el voltaje de alimentación que se fija en 18 voltios, V_c es el voltaje de control que varía entre 6.75 y 8.96 voltios, estos valores están dentro de las restricciones del integrado que aparecen en la tabla VII. Para un valor de frecuencia mínima de 2 Hz y fijando el valor de R11 en 10 k Ω se calcula el valor de C13. El valor de C13 utilizado es de 4.7 μ F. Estos valores permiten variar la frecuencia del VCO de 2 a 10 Hz aproximadamente.

4.4 Análisis de costo

El costo del circuito es de Q699.90 tomando en cuenta dispositivos electrónicos, tarjeta de circuito impreso y otros accesorios. El detalle del costo individual actual de las piezas del circuito se muestra en la tabla VIII.

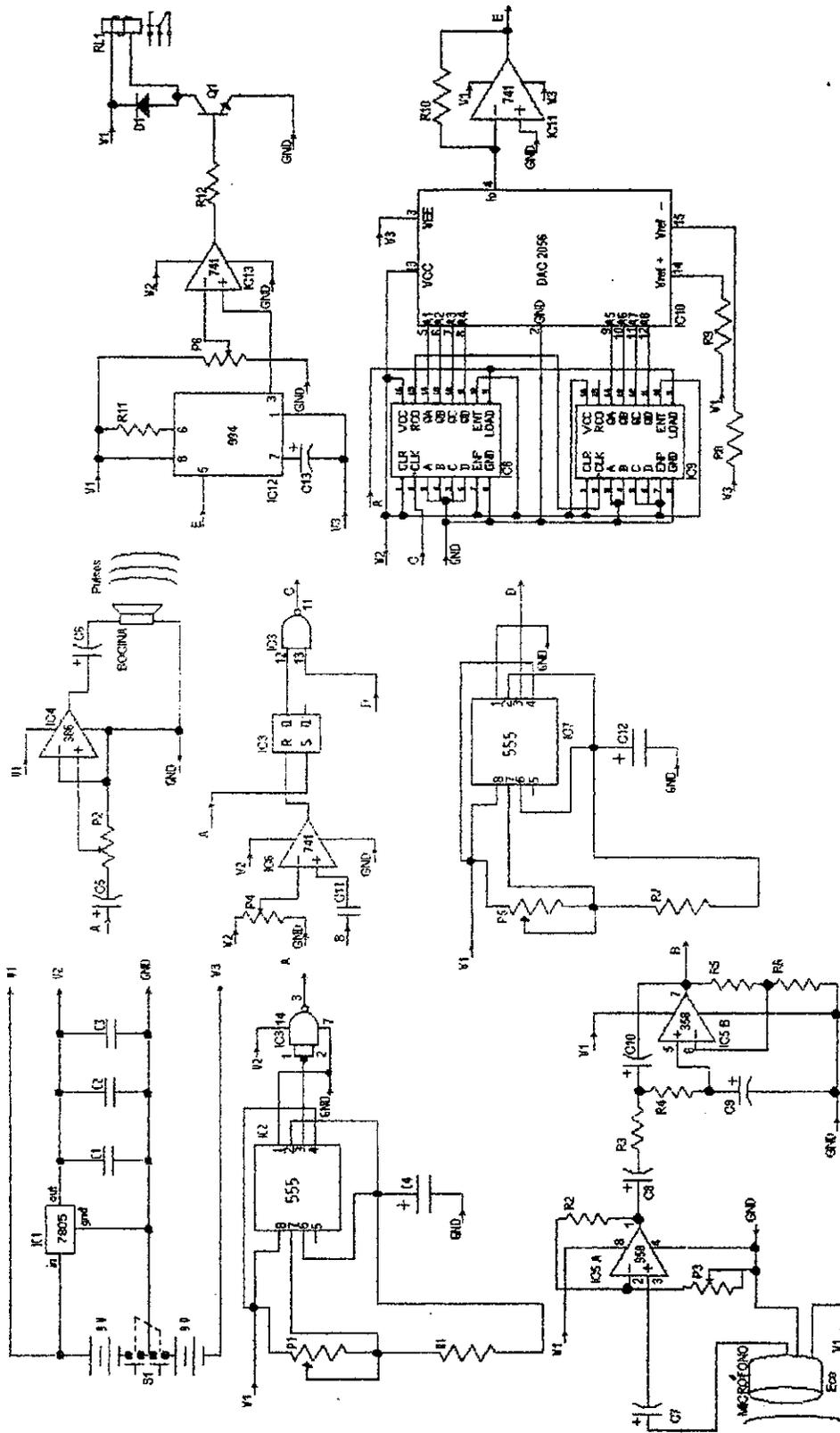
Uno de los criterios empleados en el diseño es la selección de elementos disponibles en el mercado nacional y de fácil adquisición; esto para que su implementación sea una solución viable al problema propuesto, tomando en cuenta la situación económica de las personas invidentes en Guatemala.

Los capacitores de acople (utilizados para bloquear la componente de corriente continua) se calculan en función del valor de frecuencia aproximada, F_c , de 60 Hz; mediante la fórmula $F_c = 1/(2\pi X_c C)$, donde C es la capacitancia del condensador y X_c su reactancia. Su reactancia se toma en el cálculo como un valor pequeño para que no se tenga un efecto de disminución en la corriente que está circulando a través de él.

El amplificador de entrada, es un amplificador operacional con retroalimentación sin inversión de fase. La ganancia del circuito está dada por la fórmula $G = 1 + (R_2/P_3)$ se colocan valores de $R_2 = 1 \text{ M}\Omega$ y $P_3 = 50 \text{ k}\Omega$ para poder variar la ganancia en función de la sensibilidad del micrófono. La frecuencia de corte del filtro pasabajos (deja pasar frecuencias sin atenuación del valor de la frecuencia de corte para abajo) se fija a un valor de 70 Hz. El valor de la frecuencia de corte está dado por la fórmula $F_{\text{corte}} = 1/(2\pi R_3 C)$, donde $R_3 = R_4 = 230 \text{ k}\Omega$, $C_9 = C_{10} = 0.01 \text{ }\mu\text{F}$, $R_5 = 0.586(R_6)$; $R_5 = 33 \text{ k}\Omega$ y $R_6 = 56 \text{ k}\Omega$. El valor de la ganancia está dado por la fórmula $G = R_6/R_5 = 1.59$. La forma de calcular los valores de R_3 y C_9 , es fijando el valor de C_9 en $0.01 \text{ }\mu\text{F}$, colocando el valor de frecuencia en 70 Hz y despejando de la fórmula el valor de R_3 .

El oscilador secundario se calcula en forma similar al oscilador primario. La frecuencia de este circuito depende del número de pulsos que se necesiten contar en el tiempo en el que viaja el pulso generado por el oscilador primario. La frecuencia se calcula primero sumando los tiempos T_1 y T_2 del oscilador primario y dividiendo esta entre el número de pulsos necesarios. La suma de T_1 y T_2 es igual a 0.02 seg; este valor se divide entre 70, que es el número aproximado de pulsos a contar. El valor de 70 es necesario debido a que se necesita de un rango específico de números binarios generados por los contadores. Los contadores están diseñados para que empiecen a contar en el número 11000000 hasta un número 11111111. Este rango de valores son aplicados al DAC para que los convierta a un rango de voltajes de 6.75 a 8.96 voltios. Estos valores deben estar dentro del margen de voltajes que el VCO maneja, estos se especifican en la tabla VII.

Figura 36. Diagrama del circuito



El transistor Q1 es el 2N2222 y trabaja como interruptor para activar el "relay". De los valores de R11 y C13 depende la frecuencia de operación central del VCO y son 10 k Ω y 4.7 μ F respectivamente; el diodo es el 1N914 y el "relay" es de 9 voltios. Cuando la señal de salida activa el "relay", éste vibra.

El "relay" es acoplado a la mano del usuario. La vibración producida, a diferentes frecuencias, es lo que alerta a la persona de la proximidad con un obstáculo. La frecuencia de salida cambia de 2 a 10 Hz, dependiendo de la distancia a la que se encuentre el usuario del obstáculo. Para una distancia de 3 metros se tiene una salida de aproximadamente 2 Hz, mientras que para una distancia de 0.3 metros se tiene una salida de aproximadamente 10 Hz. El diagrama completo del diseño se muestra en la figura 36.

4.3.9 Cálculo de elementos del circuito

Los elementos del circuito se calcularon en función de los distintos valores de frecuencia que se justificaron a lo largo de las secciones anteriores. Se presentan los valores calculados matemáticamente como valores teóricos, estos valores se aproximan a elementos disponibles en el mercado y son llamados valores prácticos.

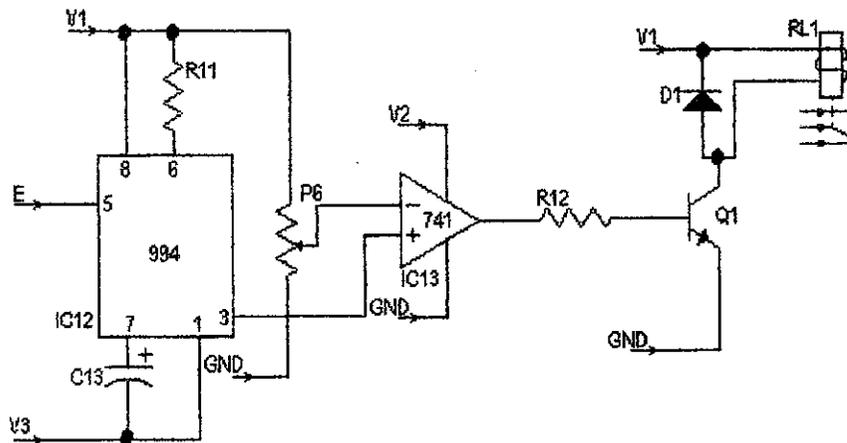
Oscilador primario: $T_1 = 0.017$ seg. (es el tiempo total que viaja el pulso para una distancia máxima de 6 metros), tomando T_2 como una fracción del 20% del tiempo T_1 se tiene que $T_2 = 0.003$ seg. Las fórmulas de los tiempos 1 y 2 son las siguientes: $T_1 = 0.693(P_1 + R_1)C_4$ y $T_2 = 0.693R_1C_4$, fijando el valor de R_1 en 10 k Ω se despeja el valor de C_4 . Los valores son $C_4_{\text{teórico}} = 0.433 \mu\text{F}$ y $C_4_{\text{práctico}} = 0.47 \mu\text{F}$. El valor de P_1 se encuentra despejando la fórmula de T_1 . Los valores son $P_1_{\text{teórico}} = 42,193 \Omega$ y $P_1_{\text{práctico}} = 50 \text{ k}\Omega$.

El circuito integrado IC12 es el 994. Sus restricciones prácticas se muestran en la tabla VII y el circuito se muestra en la figura 35.

Tabla VII. Restricciones prácticas del 994

$R11: 2 \text{ k}\Omega \leq R11 \leq 20 \text{ k}\Omega$ $V_{\text{control}}(V_c): \frac{3}{4} \leq V_c \leq V_{cc}$ $V_{cc}: \text{debe estar entre } 10 \text{ V y } 24 \text{ V}$ $f_{\text{salida}}: \text{debe ser } < 10 \text{ MHz}$

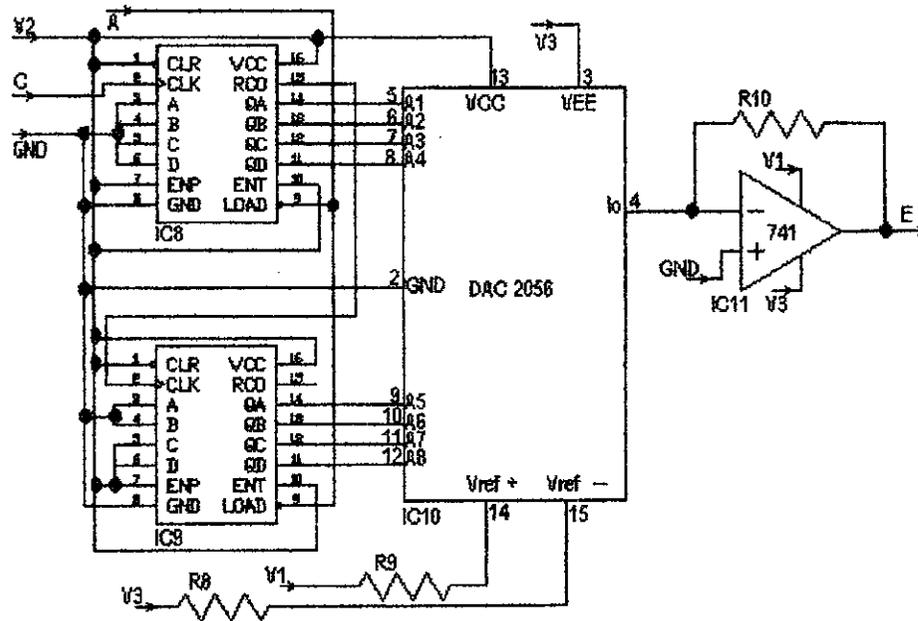
Figura 35. VCO y alarma



El VCO responde a las variaciones de voltaje de entrada, generando una señal cuadrada que varía en frecuencia. El comparador provee el nivel necesario de voltaje para activar al transistor. El potenciómetro, P6, determina el voltaje de referencia para la comparación; su valor es de 10 k Ω .

En la figura 34 se muestra el circuito. Los circuitos integrados 74163 son contadores BCD y corresponden a IC8 e IC9. El IC10 es un DAC 2056, el IC11 es el amplificador operacional 741 en configuración de convertidor de corriente a tensión y las resistencias R8, R9 y R10 son iguales a 5 k Ω .

Figura 34. Contador de frecuencia y DAC



4.3.8 Oscilador controlado por voltaje y alarma

La parte final del circuito tiene la finalidad de aceptar el voltaje convertido a analógico y convertirlo a una señal cuadrada. La variación de su frecuencia es proporcional al cambio de voltaje de entrada. Esta frecuencia varía dentro de un rango de valores de 2 a 10 Hz. La señal es transferida a una alarma que responde a los diferentes valores de frecuencia, alertando de esta manera al usuario de la cercanía de un obstáculo en su camino.

La frecuencia que se utiliza en el diseño es aproximadamente de 4,000 Hz, la razón es que se quiere contar aproximadamente 70 pulsos como máximo en el intervalo en el cual viaja el pulso. Además, debe ser mayor a la frecuencia generada por el reloj primario. Los osciladores son armados dentro de un blindaje metálico puesto a tierra; para evitar inducciones de frecuencias no deseadas.

Los valores del circuito son $P5= 1 \text{ k}\Omega$, $R7= 10 \text{ k}\Omega$, $C12=0.02\mu\text{F}$ y el circuito integrado IC7 es el 555.

4.3.7 Contador de frecuencia y convertidor D/A

Este circuito cuenta la cantidad de pulsos que salen de la compuerta NAND. Se conectan dos contadores 74163, para que cuenten desde 0 a 255. La cuenta se empieza desde el número 192 en decimal que corresponde al 11000000 en binario. Esto se realiza por medio de la entrada de "load" de dichos integrados. El número se carga con el pulso generado por el oscilador primario.

La razón de empezar en este número la cuenta se debe a que el convertidor digital-analógico tendrá como salida un voltaje analógico que debe estar entre los márgenes de operación de la siguiente etapa. Para un número de entrada binaria de 11000000 en el DAC corresponde un voltaje de salida de 6.75 voltios, y para el número 11111111 corresponde una salida de 8.96 voltios; que están dentro de las especificaciones de la siguiente etapa. La salida de un convertidor digital-analógico se expresa mediante la ecuación 10; donde $a_{N-1} 2^{-1} + a_{N-2} 2^{-2} + a_{N-3} 2^{-3} + \dots + a_0 2^{-N}$ corresponden a los datos de entrada, V_o es el voltaje de salida y V_{ref} es el voltaje de referencia.

$$V_o = (a_{N-1} 2^{-1} + a_{N-2} 2^{-2} + a_{N-3} 2^{-3} + \dots + a_0 2^{-N}) V_{ref} \quad [10]$$

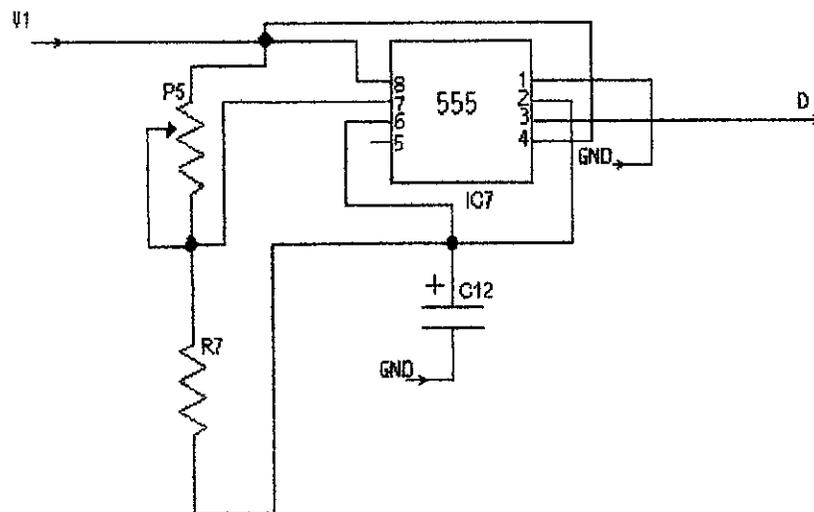
4.3.6 Oscilador secundario

Este circuito genera pulsos de onda cuadrada de alta frecuencia, los cuales son acoplados a una compuerta AND.

Su función es proporcionar un número de pulsos, para que pasen durante el tiempo que la compuerta se encuentra habilitada. El número de pulsos aumenta conforme a la distancia recorrida por el pulso enviado.

El circuito también está basado en el circuito integrado 555 en modo astable. La frecuencia del mismo está calculada sobre la base de la cantidad de pulsos que se requieren contar en el tiempo en el que el pulso enviado regresa. La figura 33 muestra el circuito.

Figura 33. Oscilador secundario



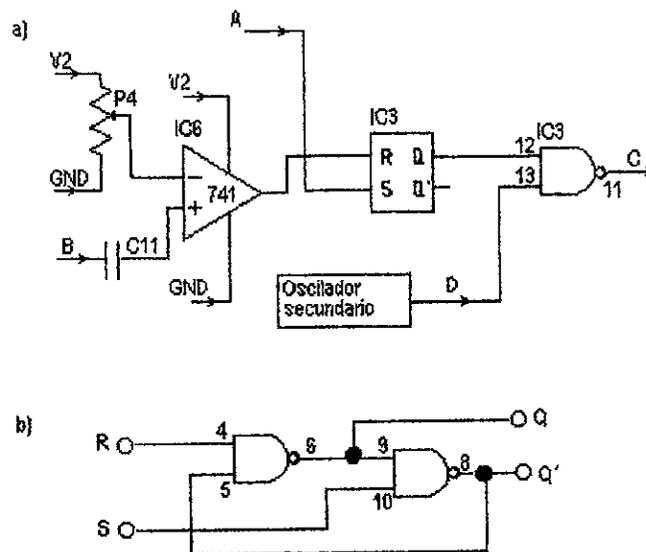
4.3.5 Comparador

Esta etapa tiene como fin proporcionar cierta sensibilidad al circuito y además darle el nivel necesario al pulso recibido para trabajarlo con circuitos digitales TTL.

La salida de la etapa de comparación se acopla a un flip-flop RS. La salida Q del flip-flop pasa de un nivel 0 a 1 cuando el primer pulso del oscilador primario entra en su terminal R; y pasa de nivel 1 a 0 cuando el eco entra en su terminal S.

Esto permite habilitar, durante el tiempo en que viaja el pulso en el medio, el paso de pulsos de un oscilador secundario mediante una compuerta NAND. El circuito se muestra en la figura 32. El circuito integrado IC6 es el 741, el IC3 es el 7400 conectado como muestra la parte b de la figura 32, $P4=10\text{ k}\Omega$ y $C11=47\mu\text{F}$, 16 voltios.

Figura 32. Comparador

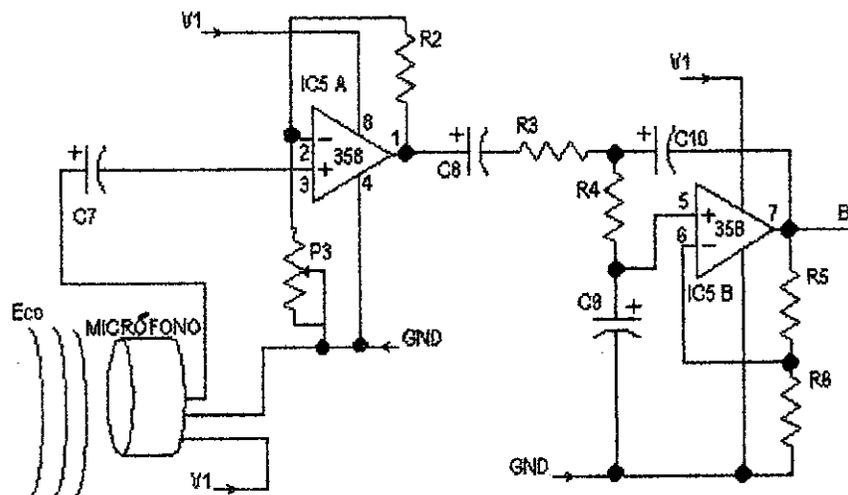


4.3.4 Amplificador de entrada

Este circuito capta los pulsos que son reflejados, en los objetos, por medio de un micrófono; amplifica la señal, aumentándola a un nivel de voltaje necesario para ser procesada. Además incluye un filtro pasabajos que está diseñado para tener una frecuencia de corte con el valor un poco mayor que la frecuencia generada por el oscilador primario; su función es dejar pasar la banda de operación del sistema y eliminar el ruido de alta frecuencia.

El circuito se muestra en la figura 31. El circuito integrado IC5 es el LM358, el cual consta de dos amplificadores operacionales. Los valores de los demás componentes son: $R2= 1\text{ M}\Omega$, $R3= R4= 230\text{ k}\Omega$, $R5= 33\text{ k}\Omega$, $R6= 56\text{ k}\Omega$, $P3=50\text{ k}\Omega$, $C7= C8= 47\mu\text{F}$, 16 voltios, $C9= C10= 0.01\mu\text{F}$ y el micrófono es de cristal.

Figura 31. Amplificador de entrada



4.3.3 Amplificador de salida

La etapa de salida tiene la función de amplificar los pulsos generados por el oscilador, para darle a la señal la potencia necesaria para alcanzar la distancia requerida. Se utiliza el operacional LM386 con una ganancia de 20. En la tabla VI se muestran las características de dicho circuito integrado.

Tabla VI. Características del LM386

Rango de voltaje de alimentación	+4 a +12V
Corriente de reposo	4 a 8 mA
Salida de potencia	250 a 325 mW
Ganancia de voltaje	20 a 200
Ancho de banda	300 kHz
Distorsión armónica total	0.2 %
Resistencia de entrada	50 k Ω

El circuito se muestra en la figura 30. El circuito integrado IC4 es el LM386, C5=100 μ F, 16 voltios; C6=220 μ F, 16 voltios; P2=10k Ω y la bocina es un tweeter piezoeléctrico.

Figura 30. Amplificador de salida

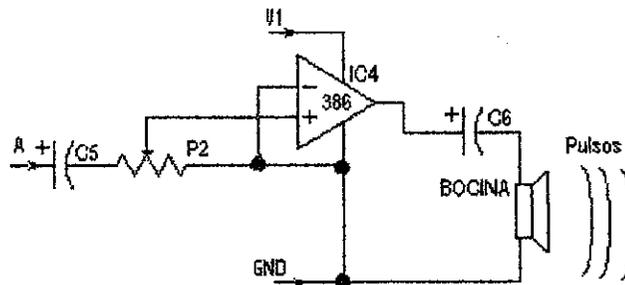
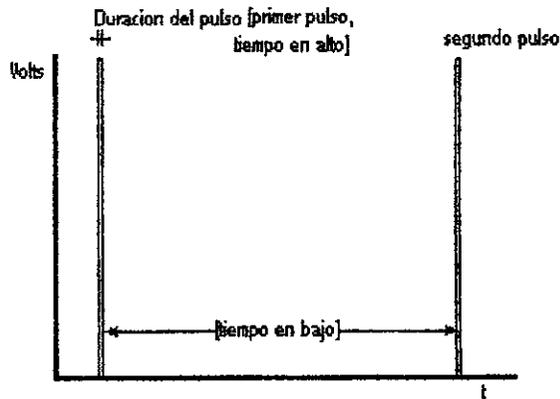


Figura 28. Frecuencia generada por el oscilador primario



El circuito del oscilador se muestra en la figura 29. El circuito integrado IC3 es el 7400 y es usado para invertir la señal generada para lograr que el tiempo en bajo sea mayor que el tiempo en alto; el circuito integrado IC2 es el 555, $P1=50k\Omega$, $R1=10k\Omega$ y $C4=0.47\mu F$, 16 voltios.

Figura 29. Oscilador primario

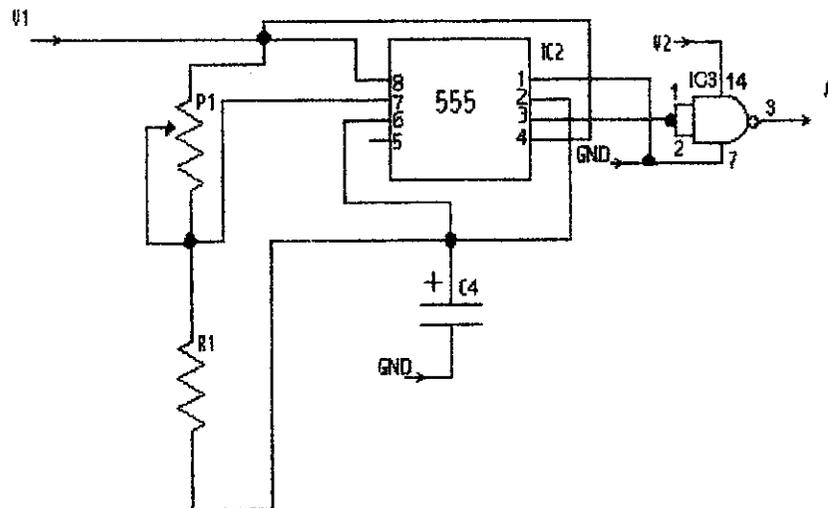
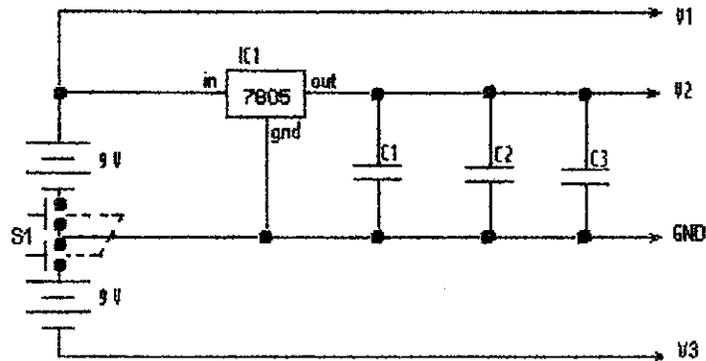


Figura 27. Fuente de alimentación



4.3.2 Oscilador primario

Es un oscilador de onda cuadrada basado en el integrado 555 en modo astable. La señal de salida es amplificada y enviada al aire. Dependiendo de la frecuencia generada, F_c , se obtiene la gama de distancias que pueden medirse; ya que el eco debe regresar antes de que se repita el siguiente pulso.

Esto significa que el valor de la longitud de onda, λ , tiene que ser menor a la distancia recorrida por el pulso, $2D$. O sea que $\lambda < 2D$ y como $D=3$ mts. se debe cumplir que $\lambda < 6$.

Tomando el valor de $\lambda = 5.5$ mts. y la velocidad del sonido, c , como 330 m/s entonces de la ecuación 3 tenemos que $f = 330/5.5 = 60$ Hz. De la ecuación 1 se obtiene el periodo, T , $T = 1/60 = 0.01666$ segundos.

Los pulsos generados tienen que ser de corta duración, lo que significa que el tiempo en el que el pulso está en estado alto debe ser mucho mayor al tiempo en estado bajo. Esto se muestra en la figura 28.

Los pulsos de salida de la compuerta AND son transferidos a un contador de pulsos, la cuenta de estos es proporcional a la distancia entre la bocina que está transmitiendo y el obstáculo. Esta cantidad de pulsos es pasada a un DAC que convierte los números binarios en un voltaje analógico. Este voltaje es enviado a un VCO que lo convierte en frecuencia. Por último, la frecuencia se transmite a un elemento vibrador que está acoplado a la mano de la persona invidente.

Así pues, cuando la persona se acerca al obstáculo puede sentir pulsaciones proporcionales a la distancia que los separa. De este modo puede determinar a cuánta distancia se encuentra de cualquier objeto en su camino.

4.3 Componentes del circuito

Cada una de las partes del circuito tiene una función específica. Se utiliza una nomenclatura para las señales de entrada y salida; esta es: una flecha (\rightarrow) que entra al circuito indica voltajes o señales de entrada y una flecha (\leftarrow) saliendo del circuito indica señales o voltajes de salida. Además cada entrada y salida está identificada con una letra mayúscula para su mejor comprensión.

4.3.1 Fuente de alimentación

El circuito que se muestra en la figura 27; está alimentado por dos baterías cuadradas de 9 voltios. El voltaje positivo es regulado por medio del integrado 7805 (IC1) a 5 voltios (V2) para los circuitos TTL utilizados. Utiliza 3 capacitores de $0.01 \mu\text{F}$ (C1, C2 y C3) para evitar los picos producidos por los cambios de estado de los contadores. Además, está provisto de un interruptor de contacto de doble polo S1, para ponerlo a funcionar.

El tiempo desde que el pulso del oscilador primario establece la salida del flip-flop en un nivel 1 hasta que el eco la pone en 0, es el que se tarda el pulso en viajar, chocar con el objeto y regresar. Este es correspondiente al número de ciclos, generados por el oscilador secundario, que pasan por la compuerta AND.

En la figura 26 se muestra el diagrama de tiempo del flip-flop para tener una mejor comprensión de la forma en que cambia de estado. Además la tabla V muestra su funcionamiento.

Figura 26. Diagrama de tiempo de la activación del flip-flop RS

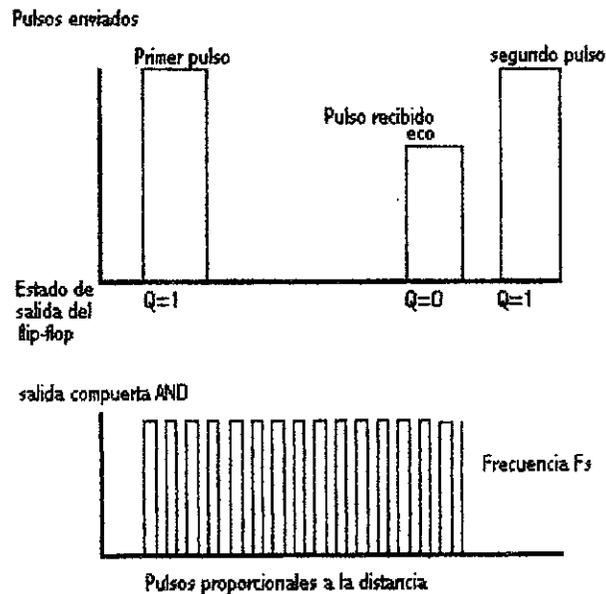
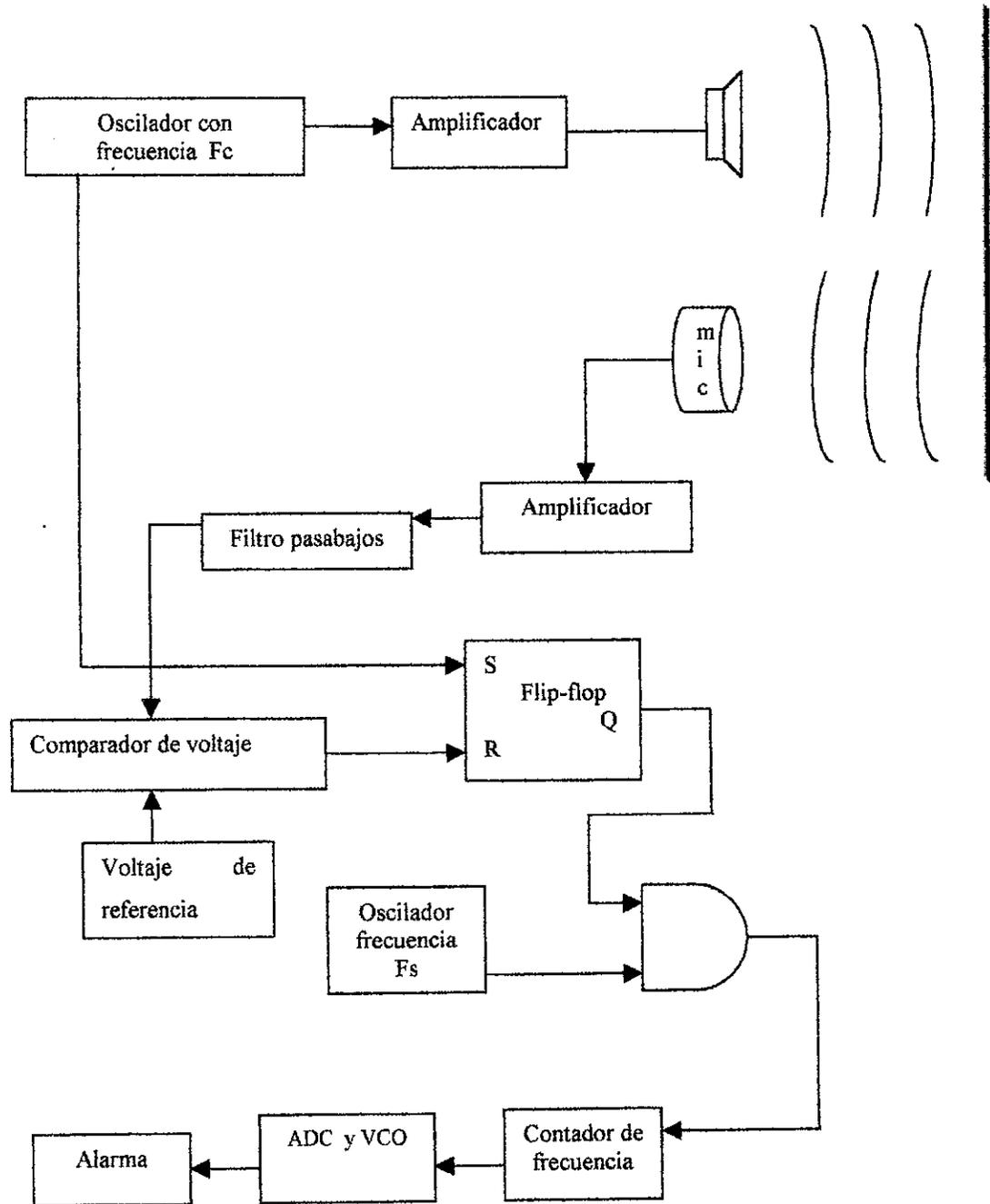


Tabla V. Tabla de verdad de un flip-flop RS

R	S	Q	Q'
L	L	no permitido	
L	H	H	L
H	L	L	H
H	H	sin cambio	

Figura 25. Diagrama de bloques del circuito



4.2 Diagrama de bloques

En la figura 25 se muestra en bloques el diseño del circuito; el oscilador primario genera pulsos de corta duración con una frecuencia F_c , estos son amplificados y enviados al aire por medio de una bocina. El sonido viaja desde la fuente, choca y se refleja, el eco reflejado es captado por un micrófono.

El eco es amplificado y pasado por un filtro pasabajos con frecuencia de corte un poco mayor que F_c ; esto evita que señales de ruido del ambiente y el generado por el amplificador pasen a la siguiente etapa.

La señal del oscilador primario también tiene otra finalidad; es usada para activar un flip-flop RS, el cual con un pulso en la entrada R cambia su salida Q de nivel 0 a 1.

La salida del flip-flop RS en nivel 1 hace que una compuerta AND permita el paso de una cantidad de pulsos generados por un oscilador secundario con frecuencia F_s . El pulso que se envía al espacio es captado, después de su choque con un objeto, amplificado y filtrado.

El eco es pasado a una etapa de comparación, la cual tiene la función de darle sensibilidad al circuito. El comparador se ajusta a cierto voltaje de referencia. Cuando el eco filtrado tiene un valor de voltaje menor al voltaje de referencia, la salida del comparador es cero lo cual mantiene al flip-flop RS con salida en nivel 1.

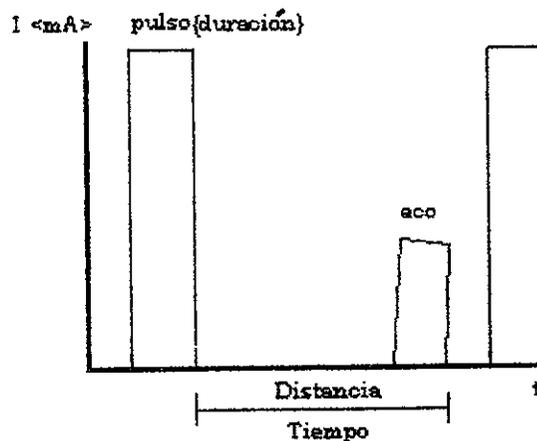
Cuando el eco es mayor que el voltaje de referencia, la salida del comparador es de 5 voltios; voltaje necesario para trabajar con niveles digitales TTL. Este valor de voltaje cambia el estado del flip-flop de nivel 1 a 0.

Esto es, tomando la velocidad del sonido en el aire como 330 m/s y midiendo el tiempo recorrido del pulso y eco.

La frecuencia de los pulsos emitidos es importante, ya que determina el margen de distancias que se pueden detectar. Esto es, el eco reflejado debe estar presente en el transductor detector antes que el pulso siguiente de envío sea producido.

En la figura 24 se muestran los diversos parámetros en la detección del eco; como lo son frecuencia, duración de los pulsos, distancia recorrida y tiempo.

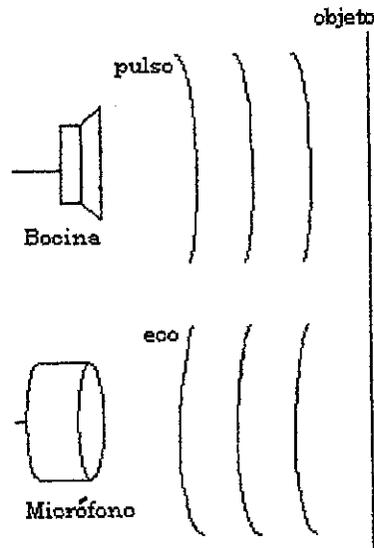
Figura 24. Determinación de distancia por medio de la medición del tiempo pulso-eco



De la frecuencia depende el tiempo de repetición de dos pulsos consecutivos (ecuación 1) y de éste el margen de distancia que se puede medir (ecuación 9); ya que el eco reflejado debe ser captado antes de que se produzca el siguiente pulso.

Los pulsos generados son enviados al espacio por medio de un transductor transmisor, una bocina, y el eco captado por medio de un transductor receptor, un micrófono. Esto se muestra en la figura 23.

Figura 23. Transmisión y recepción de pulsos

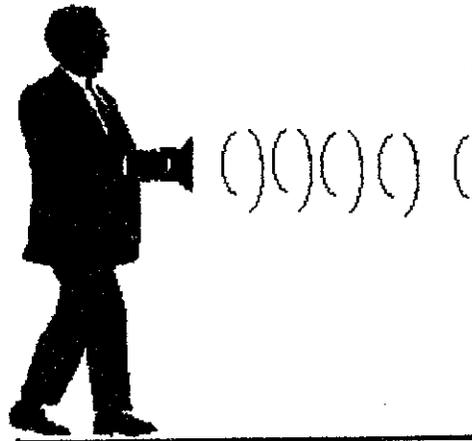


Es necesario analizar los parámetros de los pulsos generados por el circuito, como lo son frecuencia y forma de onda, para poder justificar sus valores. El circuito genera pulsos cuadrados de corta duración que son enviados al espacio por medio de un transductor; es necesario generar esta forma de pulso debido a que existe una mayor facilidad de detección del eco. Por ejemplo una forma de onda senoidal podría fácilmente confundirse con el eco y no tener definición en su retorno.

El tiempo recorrido por el pulso hasta llegar al obstáculo y el eco en regresar se usa para determinar la distancia entre los transductores y el obstáculo.

En la figura 22 se muestra como el diseño envía ondas de sonido, como éstas se reflejan en el obstáculo y son captadas para ser trasladadas a un sistema de alarma que advierte a la persona invidente de un obstáculo en su camino.

Figura 22. Forma en la que una persona invidente se traslada usando el diseño



El aparato es capaz de detectar un objeto a una distancia aproximadamente de 3 metros, alertando al usuario mediante pulsaciones sensibles al tacto. Estas pulsaciones tienen una velocidad de repetición, frecuencia, que depende de la distancia a la que el usuario se encuentre del obstáculo. El circuito incluye un interruptor de contacto que le permite al usuario activarlo en el momento en el que lo necesite; esto permite un ahorro de energía, la cual es necesaria, para su funcionamiento.

Con esto la persona invidente tiene varias ventajas como por ejemplo: tener un radio de alcance mayor, tener una idea de la distancia aproximada del obstáculo, facilidad de transportación debido a su tamaño y peso ideal además de aprender a usarlo de una forma fácil.

4. DISEÑO DE UN BASTÓN PARA PERSONAS INVIDENTES

4.1 Descripción

El diseño que se presenta consiste de un conjunto de circuitos que juntos tienen la finalidad de servir como un aparato de guía a personas invidentes, como lo hace un bastón. El principio de funcionamiento se basa en la forma que algunos animales, como el delfín y el murciélago, utilizan para su movilización. Por naturaleza estos animales no tienen el sentido de la vista desarrollado, así que al transitar envían una onda de sonido, la cual choca contra cualquier obstáculo o comida en su camino, y es detectada en su retorno; pudiendo determinar la ubicación y distancia a la que se encuentra de ellos.

La figura 21 muestra la forma tradicional en la que una persona invidente se moviliza. Con un bastón palpa los diversos obstáculos que encuentra en su camino.

Figura 21. Forma tradicional de movilización de una persona invidente

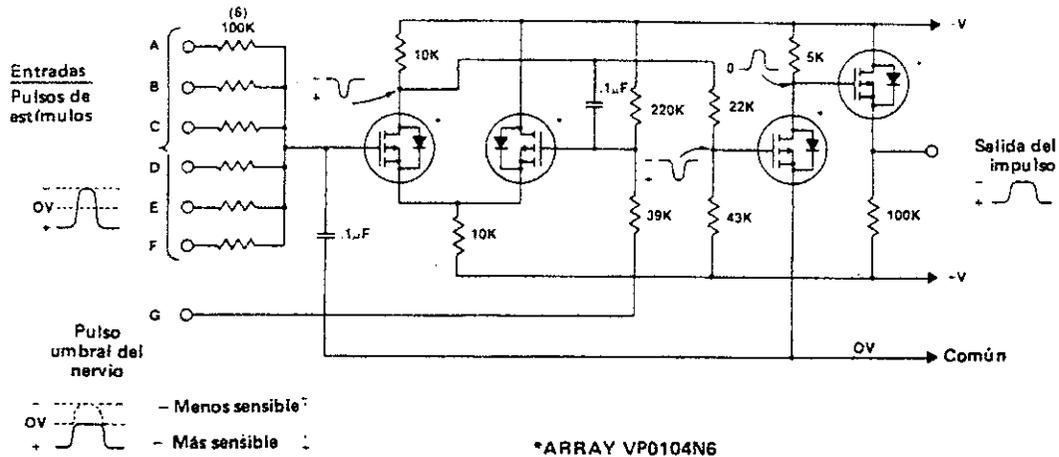


Y por último, una tercera consideración para el uso de prótesis, especialmente para niños, es que sin arnés es fácil de retirar en forma inapropiada. Esto puede ser remediado con el uso de una banda elástica para ayudar a la seguridad de la prótesis.

3.3.3 Célula nerviosa artificial

El circuito mostrado en la figura 20 es utilizado como parte de la tecnología de detección, y es adecuado para aplicaciones de robótica, dispositivos de prótesis y procesadores rápidos necesarios en sensores de piel. Los pulsos del sensor se suman de una manera no lineal en una entrada de coincidencia con un pulso umbral, que determina el nivel de estímulo para el que aparece una salida de una cierta amplitud. Además, la fuente de alimentación gobierna directamente la acción del circuito, por lo que constituye otra variable de la respuesta del "nervio". Una característica del circuito es la diferenciación en el tiempo de la mayoría de los impulsos de entrada, utilizando el pulso umbral como una función del dominio del tiempo, con sus variaciones de tensión.

Figura 20. Célula nerviosa artificial



FUENTE: (WHITSON, 1991. 303)

En términos de entrenamiento, puede ayudar al paciente a descubrir las características de operación y les permite realizar actividades del diario vivir con una prótesis electrónica. Aunque una preparación para prótesis electrónica debe estar ajustada con el mismo cuidado que una prótesis definitiva, el proceso de fabricación y los componentes usados proveen una forma muy efectiva de analizar las necesidades reales de los pacientes.

3.3.2 Ventajas y desventajas de las prótesis electrónicas

El mayor beneficio que tienen los miembros electrónicos es tener una apariencia de la mano más real y natural. Segundo, la mano electrónica es eléctricamente poderosa, provee una fuerza de manipulación que se acerca más a una mano natural. Tercero, la habilidad potencial de utilizar las prótesis en todos los planos espaciales, comparadas con las prótesis mecánicas. Además las prótesis electrónicas pueden ser utilizadas fácilmente por los niños. Esto es particularmente real con los nuevos circuitos electrónicos que proveen una manipulación sencilla, por lo cual una contracción del músculo inicia abriendo la mano y una total relajación de los músculos proveen un cerrado automático. Por último, eliminar los arneses de hombros provee gran comodidad, menos resistencia a usar la prótesis y elimina la necesidad de movimientos toscos del cuerpo.

Entre las desventajas principales está el costo, la segunda es la incapacidad de usar la prótesis en algunos ambientes, particularmente en lugares húmedos y arenosos. Bajo estas circunstancias es recomendable utilizar guantes cosméticos que proveen una protección básica para los elementos internos.

Los bancos de miembros son formados generalmente por un período de tiempo como componentes donados por familias en las cuales los niños han crecido y dejado las prótesis, aunque inicialmente puede estar compuesto de componentes nuevos para proveer un soporte inicial. El beneficio más importante de éstos es reducir el tiempo fuera de servicio por reparaciones y mantenimiento.

El éxito en este programa debería incluir la capacidad de hacer reparaciones en casa para cualquier sistema electrónico que está siendo usado por los pacientes. Cuando es necesario enviar componentes a la fábrica para servicio, el resultado son semanas de demora antes de que la prótesis pueda ser usada de nuevo. Se puede tener en casa un sencillo inventario de fallas con las mejores soluciones a éstas.

Una segunda ventaja del banco de miembros podría ser proveer los fondos a niños los cuales su familia no pudiera cubrir el costo total de la prótesis. Sería de gran beneficio para muchas familias de escasos recursos.

Un tercer beneficio podría ser que los pacientes tengan un uso preparatorio de las prótesis electrónicas. Esto tiene tres funciones; preparación, evaluación y entrenamiento. La preparación incluye establecer los sitios óptimos de los electrodos, mejoramiento de la captación de las señales y condiciones de los tejidos para aceptar los enchufes y el peso de la prótesis.

La evaluación ayuda a darle validez al diseño del enchufe y a la selección de los componentes, determinar la motivación de paciente y parientes, demostrarle el valor funcional del aparato al paciente y familia y proveer evidencia clínica para sustentar racionalmente costos y beneficios.

3.3 Prótesis electrónicas

Durante los pasados 25 años, los avances dentro del campo de la tecnología electrónica han tenido un firme y creciente impacto en el campo de las prótesis. Esto ha llevado al uso de miembros electrónicos por un segmento ancho de la población de adultos con miembros amputados así como por un aumentado número de niños e infantes con deficiencias de miembros adquiridas y congénitas. Por ejemplo, en 1981 empezó un programa en Detroit, E.U.A., para proveer de prótesis electrónicas a niños. Los diseñadores tuvieron una preocupación principal, la cual fue, el temor de fallas electromecánicas frecuentes de los componentes de la prótesis causadas por el uso de los niños. Al mismo tiempo, parecía razonable asumir que montar en niños equipo electrónico caro podría conducir a reparaciones muy costosas. Los hechos actuales han demostrado que estos temores han sido infundados, ya que estos equipos electrónicos fabricados para niños han sido muy durables, siendo la frecuencia de falla electromecánica cerca de tres veces cada dos años.

Para niños preescolares una consideración práctica para el uso de prótesis electrónicas es tomar en cuenta su peso. Por ejemplo un niño de un año puede tolerar fácilmente prótesis con un peso de 340 a 454 gramos. La empresa Variety Ability Systems Inc, en Toronto, Canadá, construye prótesis con un peso menor a 255 gramos.

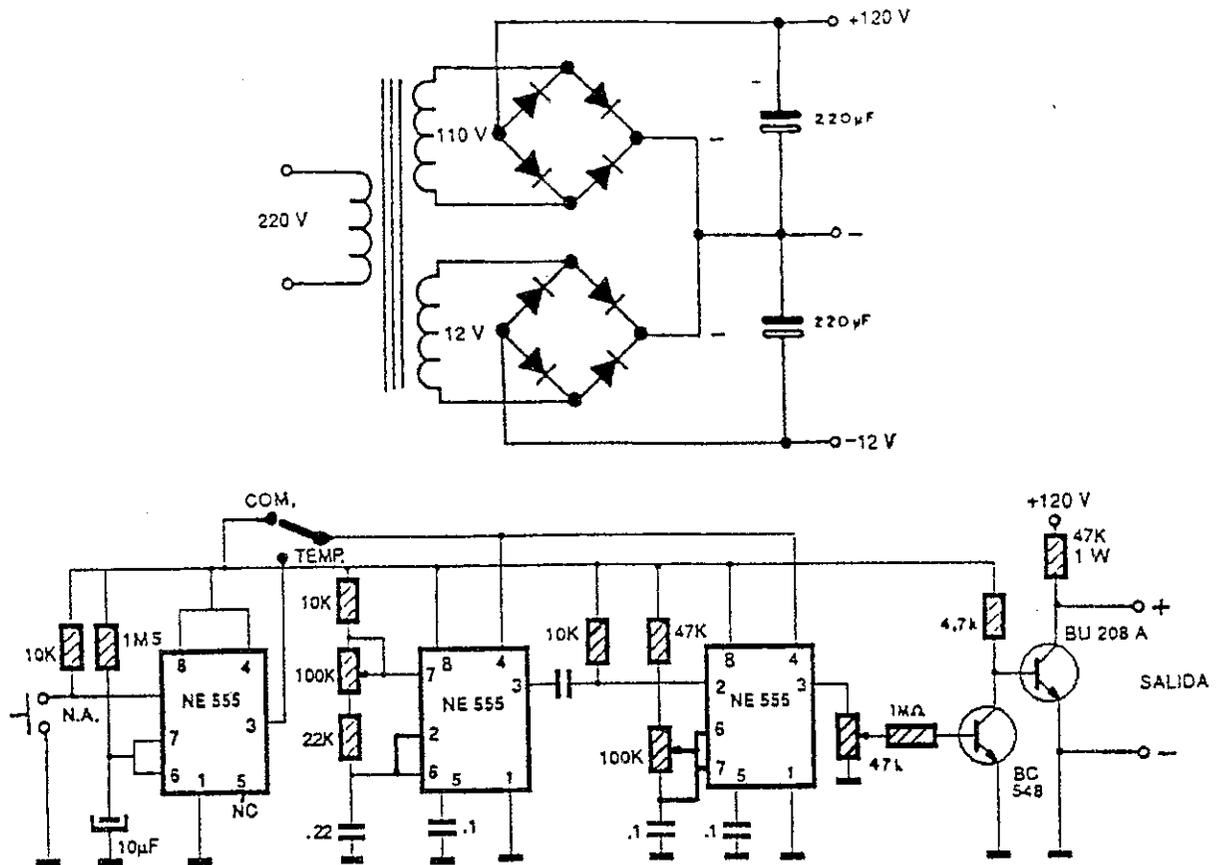
3.3.1 Programa de banco de miembros

Un estudio de miembros electrónicos debe mencionar el soporte. Un banco de miembros consiste en una colección de manos electrónicas, electrodos, cables, baterías, cargadores de baterías que puedan proveer un reemplazo al instante para cualquier componente que esté siendo usado por una persona con un miembro amputado.

En la figura 19 se muestra el circuito de un estimulador el cual permite estimulación continua o temporizada y posibilita variar la intensidad, la frecuencia y el ciclo de actividad. Este trabaja con un transistor de salida para altas tensiones.

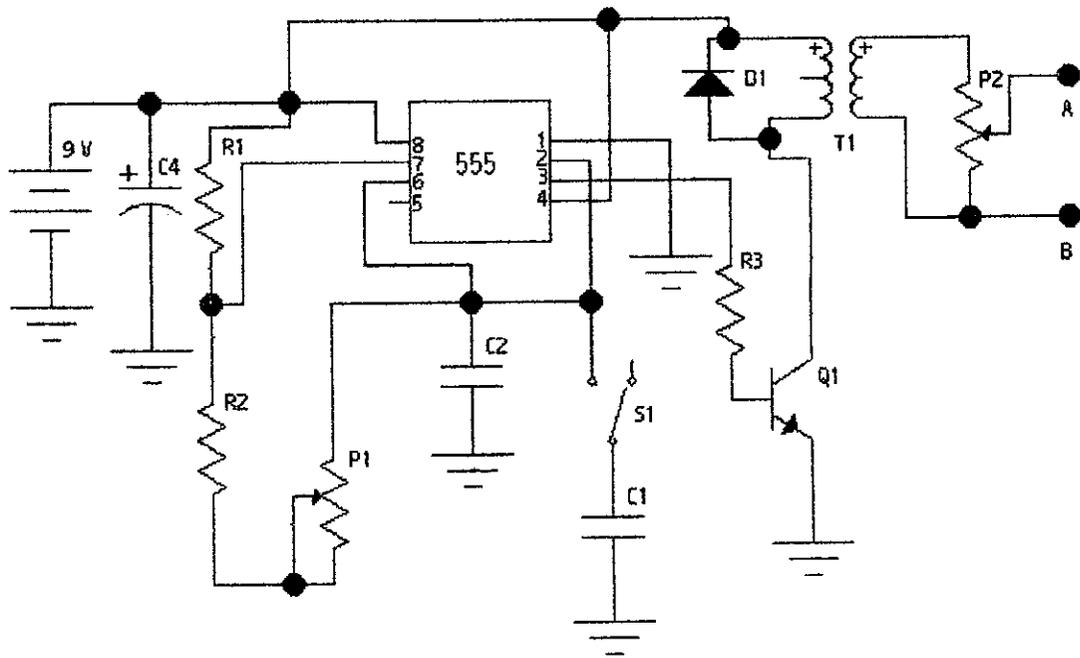
La temporización del estimulador se realiza por medio de un circuito integrado 555 actuando como oscilador monoestable disparado por un interruptor de contacto normalmente abierto. La señal a utilizar se obtiene de un segundo circuito integrado 555, cuya frecuencia se varía a partir del potenciómetro de 100k Ω , y el ciclo de actividad por un tercer circuito integrado 555 en configuración de circuito de reloj.

Figura 19. Estimulador electrónico con control de frecuencia, intensidad y ciclo de trabajo.



FUENTE: (WHITSON, 1991. 154)

Figura 18. Circuito estimulador con el integrado 555

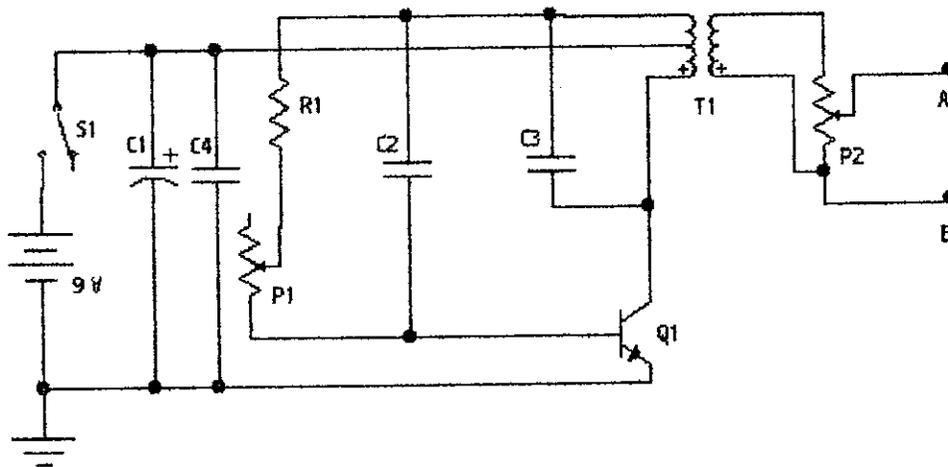


Los valores de los elementos del circuito son $R1=10k\Omega$, $R2=2.2k\Omega$, $R3=1k\Omega$, $P1=1M\Omega$, $P2=10k\Omega$, $C1=470nF$ y $12V$, $C2=47nF$, $C3=1nF$, $C4=1000\mu F$, un transformador $220V$ a $12V$ de 500 mA , un circuito integrado 555 y el transistor $Q1$ es el TIP31C.

En el circuito de la figura 17, los electrodos de salida se conectan a los puntos A y B. Por medio del interruptor $S1$ se puede cambiar la gama de frecuencias de trabajo al colocar a $C1$ y $C2$ en paralelo. En ambos circuitos se gradúa el potenciómetro $P2$ para obtener un mínimo de intensidad de salida, aumentando gradualmente la intensidad para evitar descargas no deseadas.

Estos circuitos deben ser utilizados por profesionales médicos expertos en la rama del tratamiento de dolores musculares, contracturas, deficiencias de la piel y atrofas musculares.

Figura 17. Circuito estimulador con transformador



Los valores de los elementos del circuito son $R1=1k\Omega$, $P1=47k\Omega$, $P2=10k\Omega$, $C1=100\mu F$ y $12V$, $C2=10nF$, $C3=47nF$ y el transistor Q1 es el TIP31C.

El circuito de la figura 18 tiene como base un oscilador realizado sobre la base del circuito integrado 555 en configuración de libre oscilación. La variación de la frecuencia se hace por medio de P1. La señal de salida excita un transistor de potencia en cuyo colector se coloca el transformador encargado de elevar la tensión de los pulsos de salida.

3.2.7 Circuitos de aplicación

En este apartado se presentan algunos circuitos, en los cuales la idea principal es estimular determinados músculos por medio de pulsos eléctricos capaces de producir corrientes por el organismo, mucho más bajas de las que podrían provocar alguna lesión, pero suficientes para producir un estímulo.

Se generan pulsos de media tensión durante intervalos reducidos, controlados en frecuencia para fortalecer los músculos, nervios y otras áreas determinadas del organismo. El estímulo es realizado externamente, normalmente por medio de dos electrodos que se colocan en la zona a ser tratada. En estos circuitos es necesario utilizar inversores para la generación de un alto voltaje necesario para vencer la resistencia de la piel para producir el estímulo. Los inversores utilizados, trabajan con corrientes muy pequeñas para evitar descargas bruscas. En los siguientes circuitos se permite variar la tensión de los pulsos aplicados con lo cual se ajusta la intensidad del estímulo. Además se puede ajustar la frecuencia de los mismos.

El principio utilizado es elevar la tensión aplicada hasta obtener pulsos de tensión alterna elevada. Se utiliza un transformador que opera con las variaciones de corriente producidas por un oscilador.

En la figura 17 se muestra un estimulador en el cual se generan tensiones de hasta 400 voltios, con una alimentación de 9 voltios. Mediante el potenciómetro P1 se efectúa el ajuste de frecuencia. El oscilador utiliza un transistor en configuración base común, un transformador de 220 V a 6V + 6V de 500 mA. El potenciómetro P2 ajusta la intensidad de los pulsos aplicados.

3.2.5.3 Oclusión de la sangre

Para que la sangre fluya adecuadamente a través de los músculos, la frecuencia aplicada debe ser mas baja de 20 Hz para músculos de fibras rojas y más baja de 5 Hz para músculos de fibras blancas. La sangre debe fluir a través de los músculos; de lo contrario conduce a fatiga muscular.

3.2.6 Excesiva estimulación del músculo

Exigir demasiado de los músculos es el principal factor que contribuye a la fatiga muscular. Las estimulaciones eléctricas de lazo abierto en una vía entregan señales eléctricas del estimulador al músculo.

Un estimulador de lazo abierto es incapaz de interrumpir y continuar las contracciones musculares en el momento exacto durante el paso del ciclo; ni puede balancear exactamente el cuerpo contra la gravedad o propulsarlo eficientemente hacia delante porque la información acerca de fuerzas y momentos no es enviada a una computadora.

En la estimulación de lazo cerrado, la información acerca de la condición del cuerpo durante posiciones de pie o caminando es tomada por sensores que son montados sobre el cuerpo y procesados en una computadora logrando que los músculos puedan responder más apropiadamente al ambiente y a las perturbaciones.

El control de realimentación de lazo cerrado analiza constantemente el cuerpo, en la misma forma en la que el sistema nervioso lo hace, procurando aplicar niveles de estimulación más bajos y seguros.

3.2.5.1 Excesiva frecuencia de estimulación

Los neuromotores son incapaces de despolarizar las fibras musculares cuando la frecuencia de disparo del potencial aplicado excede a 15 Hz, según K. Krnjevic y R. Miledi; y de 10 a 20 Hz según E. Kugelberg y L. Edstrom. La frecuencia de los estimuladores eléctricos generalmente comienza tan baja como 20 Hz y puede ser tan alta como 70 Hz. Esto sólo se utiliza en enfermedades tetánicas para realizar contracciones que dan como resultado movimientos provechosos de las partes inmóviles.

En contracciones normales, la frecuencia del potencial puede ser baja porque las contracciones nerviosas individuales en diferentes músculos ocurren en diferentes momentos. No importa qué tan larga sea la contracción, el estimulador excita las neuronas simultáneamente; por consiguiente los mismos neuromotores son repentinamente activados.

3.2.5.2 Orden incorrecto de fibras musculares

La fatiga muscular en estimulación eléctrica es también debida al orden inverso de las fibras musculares con estímulo creciente. Los músculos están compuestos de dos tipos de fibras, una de contracción nerviosa rápida (blanca) y otra lenta (roja). Las fibras rojas contraccionan lentamente, metabolizan aeróbicamente, son resistentes a la fatiga. Sus axones tienen un gran umbral de excitación. Las fibras blancas se contraen rápidamente, metabolizan anaeróbicamente, siendo menos resistentes a la fatiga que las fibras rojas. Sus axones tienen un umbral eléctrico menor que las fibras rojas. Durante una contracción sostenida, el orden natural de selección es: primero las fibras rojas y luego las blancas. Los estimuladores seleccionan las fibras en orden inverso debido a las características de bajo umbral eléctrico de las fibras blancas.

Los electrodos percutáneos son insertados con una aguja a través de la profundidad de la piel dentro del músculo que está próximo al neuromotor. Con estos electrodos se pueden seleccionar músculos individuales fácilmente. Es posible removerlos pero generalmente son mantenidos dentro de la piel por largos períodos de tiempo. Sin embargo, estos son frecuentemente quebrados o movidos, existiendo la posibilidad de infecciones. Los electrodos implantados son similares a los electrodos percutáneos, con la excepción que es necesaria una cirugía para implantarlos y extraerlos, son generalmente muy seguros y además la propensión a moverlos fuera del nervio es muy reducida.

3.2.4 Conducción del tejido

La conductividad relativa del tejido depende del agua y cantidad ionica que contenga. Los músculos tienen un 75%; la grasa un 15% y la piel y huesos de un 5% a un 15%. Para pasar corriente a través de tejidos de alta impedancia, es necesario un alto voltaje. Por ejemplo, es necesario un voltaje mas alto para electrodos superficiales que pasan corriente a través de piel de baja conducción y grasa antes de alcanzar los neuromotores que para electrodos implantados o percutáneos para producir contracciones musculares similares.

3.2.5 Fatiga muscular

Cuando un músculo se contrae continuamente, su fuerza cae con respecto al tiempo, como un porcentaje de su valor inicial. Una caída de un 50% en un minuto es típica en un músculo estimulado eléctricamente que no ha sido crónicamente estimulado, lo cual es significativamente más rápido que en un músculo normal. Existen varias teorías relativas a la causa de la fatiga muscular en la estimulación eléctrica; de las cuales se proponen las más importantes.

Los nervios, al aplicarles un umbral eléctrico externo, responden de una forma “todo o nada”. Al aplicarles el pulso contraccionan y al bajar de nivel regresan a su posición original, de modo que al incrementar el estímulo mas allá del umbral no se obtendrá un incremento de la salida del neuromotor. El incremento en el estímulo puede dar como resultado el refuerzo de otros neuromotores.

La fuerza de los músculos es también modulada por la frecuencia de los estímulos. La membrana muscular o su componente eléctrico tiene un periodo inmune a la despolarización, pero el mecanismo contráctil no. Cuando la membrana ha reasumido la capacidad de propagar otra onda eléctrica a través del músculo, el mecanismo contráctil está empezando a acortar el músculo. Un estímulo subsecuente a través de las fibras musculares acortará el músculo incluso mas allá. Cuando la frecuencia del estímulo aumenta, la distinción entre las contracciones nerviosas disminuye, mientras la magnitud de la fuerza se incrementa.

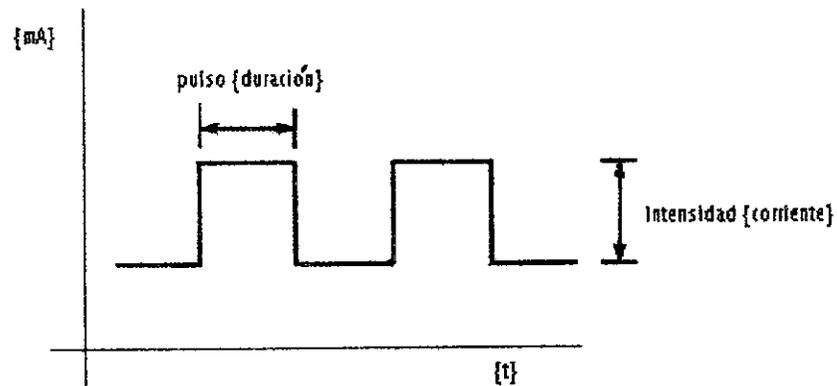
3.2.3 Electrodo

En estimulación muscular son usados tres tipos de electrodos: superficiales, percutáneos e implantados. Cada tipo de electrodo tiene características únicas que lo hacen tener avances para un uso en particular. En todos los casos, un electrodo activo y uno inactivo son necesarios para que la corriente fluya a través de los tejidos. Los electrodos superficiales son colocados sobre la piel de los pacientes, abarcan un gran grupo de músculos al instante y se retiran inmediatamente después del uso. Estos son mejores para la selección de músculos superficiales que para músculos muy profundos además no seleccionan grupos de músculos individuales tan efectivamente como los otros dos tipos de electrodos.

3.2.2 Interacción del estimulador electrónico con el cuerpo

El cuerpo humano responde a diferentes formas de estimulación, por ejemplo eléctrica, química, de presión, etc. El sistema neuromuscular responde especialmente a señales eléctricas entregadas en pulsos cortos de una intensidad, duración y frecuencia dada por una fuente externa tal como un estimulador muscular. Variando cualquiera de estos tres parámetros mostrados en la figura 16 se pueden coordinar las fuerzas de contracción en los músculos.

Figura 16. Intensidad, duración y frecuencia de pulsos generados por un estimulador electrónico.



Un neuromotor es excitado por una fuente eléctrica externa induciendo un cambio de iones (despolarización) entre las caras interiores y exteriores de la membrana de la célula nerviosa.

3.2.1 Perspectivas generales

Los investigadores han buscado unir estimuladores electrónicos con modernas abrazaderas externas para hacer sus sistemas seguros y prácticos. Un estimulador electrónico es un sistema compuesto de un estimulador de músculos basado en un microprocesador y electrodos para la transmisión de señales al cuerpo. Se pueden lograr movimientos provechosos de las extremidades y del tronco a través del aumento de la estimulación muscular controlada por una computadora. Sin embargo, el estimulador electrónico tiene limitaciones inherentes en restablecer funciones a pacientes en forma segura y eficiente. Por esta razón ha sido necesaria la implementación de un aparato híbrido que en términos generales se describe como un circuito electrónico combinado con una parte mecánica.

Una andadura con un estimulador electrónico cada vez se aproxima más a la forma en la que caminamos normalmente. Debido a los avances en programas de computadoras y sensores, la necesidad de abrazaderas está limitada a la prevención de lesiones de las articulaciones, tejidos y huesos como resultado de la contracción de un músculo en forma no natural al caminar por superficies irregulares; además también son usadas como soporte parcial antigravitacional.

Además de la restauración funcional, la estimulación eléctrica muscular tiene un valor terapéutico, esto es, ha sido utilizada para revertir atrofas musculares, aliviar temporalmente espasmos y reducir o prevenir contracturas de tejidos.

Los electrodos superficiales son ideales para suministrar estimulaciones a algunos músculos sin invadir el cuerpo, sin embargo, algunos pacientes han tenido dificultades al aplicarse electrodos convencionales a lugares múltiples de su cuerpo.

La cantidad de personas que necesitan de la profesión de rehabilitación es pequeña comparada con la porción del mercado necesaria para incentivar a fabricantes a apresurar el desarrollo de nuevos productos. Además constantemente son presentados al consumidor aparatos triviales como productos electrónicos que rivalizan o incluso exceden en su sofisticación a la mejor prótesis controlada electrónicamente.

No se pueden comprar aparatos de rehabilitación en forma excesiva simplemente para darle valor a estos productos, y animar a los fabricantes a desarrollar nuevas tecnologías surgiendo solamente para cubrir las necesidades de las personas discapacitadas. Por lo tanto cuando los fabricantes desarrollan nuevos mercados y productos ponen en práctica su experiencia para fabricar un producto más barato y seguro al uso, entonces es práctico hacer uso de estos materiales o técnicas desarrolladas en dispositivos como prótesis electrónicas y aparatos de rehabilitación. Siempre se debe recordar que adelantos en la profesión de rehabilitación son el resultado del desarrollo en otro campo.

3.2 Estimulación electrónica

La estimulación electrónica funcional se ha convertido en una nueva era para la rehabilitación y ofrece una gran esperanza para aquellos pacientes que están atados a una silla de ruedas o sufren dificultades de movilidad como resultado de un mal funcionamiento del sistema nervioso central.

Muchos centros alrededor del mundo están entregados al diseño de prototipos de sistemas de estimulación electrónica para rehabilitación y ejercicio de personas; quienes han perdido algo o todo control de alguno de sus músculos.

3. AVANCES DE LA ELECTRÓNICA EN EL CAMPO DE LA AYUDA A PERSONAS CON PARÁLISIS O CON UN MIEMBRO AMPUTADO

Durante los últimos años el desarrollo de equipo electrónico ha cobrado importancia fundamental en las diversas actividades de la sociedad; un área determinante es la electrónica médica, en la cual, con el desarrollo de diversos equipos se ha mejorado la atención a personas que sufren de alguna discapacidad. Se analiza específicamente lo que se refiere a la investigación y desarrollo de estimuladores y prótesis que son construidos con partes electrónicas, para personas que tienen algún miembro de su cuerpo inmóvil y para aquellas que de alguna manera han perdido alguno.

3.1 Investigación y desarrollo

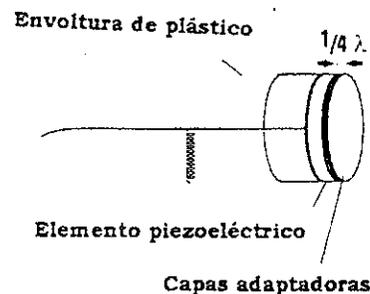
Es el proceso de usar los resultados obtenidos para resolver un problema. El resultado de la investigación es a menudo la introducción de un nuevo dispositivo o técnica. La información aplicada puede ser el resultado del esfuerzo de investigadores o de los datos recabados de la literatura. El resultado de este proceso es la posibilidad de resolver un problema práctico, pero no es necesariamente una solución práctica al problema. Aparte de cualquier nuevo conocimiento ganado, los resultados incluyen frecuentemente un modelo del funcionamiento que demuestra la viabilidad de usarlo como una solución particular para resolver el problema.

El campo de la rehabilitación de personas con alguna discapacidad ha cambiado por elementos tales como compuestos avanzados, nuevas aleaciones, computadoras y electrónica del estado sólido. Inicialmente, los materiales avanzados y procesos son muy costosos y a menudo difíciles de maniobrar.

Si estas propiedades están presentes, no hay reflexión en la interface; de aquí que la transmisión del sonido sea muy eficiente.

Un transductor no emite sólo una frecuencia, sino un espectro o rango de frecuencias. Una capa sencilla, adaptadora de impedancia de un cuarto de onda es exactamente de un grosor de un cuarto de onda, y sirve solo para una frecuencia. De este modo todas las frecuencias en una forma de onda no son eficientemente transmitidas por una sencilla capa adaptadora. Para superar este problema los fabricantes de transductores diseñan transductores con múltiples capas adaptadoras adheridas a la cara del elemento. Estas proveen en forma eficiente la transmisión de sonido entre el elemento piezoeléctrico y el medio, para un rango o espectro de frecuencias ultrasónicas.

Figura 15. Diseño de un adaptador de impedancia sobre la cara de un transductor



FUENTE: (ZAGZEBSKI, 1996. 24)

2.2.4 Capas de adaptación de impedancia de un cuarto de onda

La mayoría de los transductores tienen capas de adaptación de impedancia para mejorar su sensibilidad, esto es, su habilidad de detectar ecos débiles. Las capas de adaptación de impedancia proporcionan una transmisión eficiente de las ondas de sonido del elemento transductor al medio y viceversa. Realizan esto reduciendo las reflexiones en la interface entre el transductor y el medio.

Cuando hay una gran diferencia entre la impedancia del transductor y el medio en donde el sonido viaja sucede que mucha de la energía producida por el transductor se refleja de regreso en el elemento. Una capa protectora de plástico cubre al transductor en algunos diseños antiguos, mejorando la transmisión, pero no dando los mejores resultados posibles.

La transmisión del sonido es optimizada cuando las capas de adaptación de impedancia son unidas al elemento transductor. Como se muestra en la figura 15 la capa adaptadora de impedancia tiene un grosor de un cuarto de la longitud de onda del haz ultrasónico. La capa hace aparecer al transductor con una impedancia similar a la impedancia del medio (de aquí el termino adaptación de impedancia). Una capa adaptadora de impedancia de un cuarto de onda tiene las siguientes características:

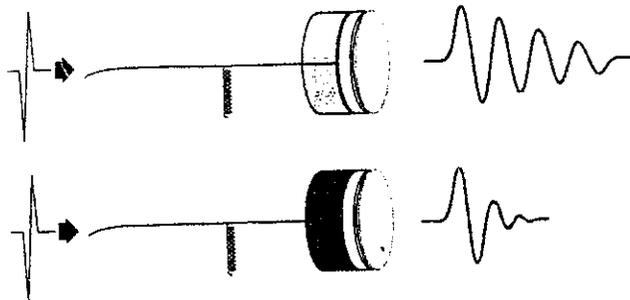
1. Su impedancia acústica, Z_m , es intermedia entre la impedancia del elemento transductor, Z_t , y la impedancia del medio, Z_{st} (que en diagnóstico médico corresponde al tejido blando). Un valor apropiado es $Z_m = (Z_t \times Z_{st})^{1/2}$, ya que la impedancia de la capa adaptadora debe estar entre la impedancia del transductor y el medio.
2. Su grosor es exactamente un cuarto de la longitud de onda del haz ultrasónico.

Para la mayoría de aplicaciones es deseable producir pulsos de muy corta duración. Esto optimiza la capacidad de resolución axial del transductor.

La duración del pulso puede ser minimizada reduciendo la vibración del transductor tan rápidamente como sea posible después de la siguiente excitación. El material de soporte de algunos transductores juega un papel principal en la reducción de la vibración del elemento transductor. El material de soporte detiene el zumbido del transductor después de la excitación. Para facilitar este papel, el material de soporte necesita tener dos propiedades. Primera, su impedancia acústica debe ser comparable a la impedancia del elemento piezoelectrico. Esto reduce la reflexión en la interface entre el transductor y el material de soporte, tal que ninguna energía propagada en la dirección trasera es transmitida fuera del elemento. Segunda, debe absorber las ondas de sonido transmitidas a través de él. Un fuerte material de soporte absorbedor de ondas de sonido sirve para reducir las vibraciones del elemento piezoelectrico, resultando en pulsos acústicos de corta duración transmitidos al medio.

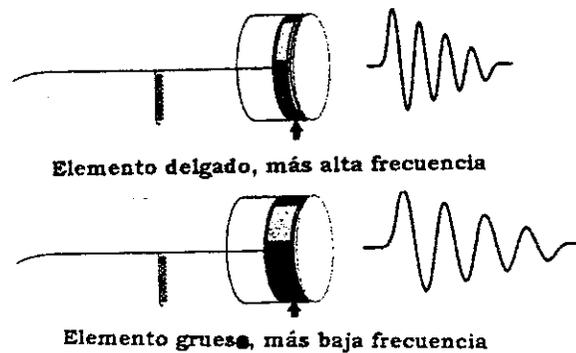
La figura 14 muestra pulsos generados por dos transductores, uno con material de soporte ligero y el otro con uno fuerte. Para aplicaciones ultrasónicas es mejor aquel que produce pulsos de corta duración, como se muestra al tener un material de soporte fuerte.

Figura 14. Papel del material de soporte en la producción de pulsos de corta duración.



FUENTE: (ZAGZEBSKI, 1996. 24)

Figura 13. Frecuencia de resonancia y espesor del elemento transductor



FUENTE: (ZAGZEBSKI, 1996. 24)

Los transductores son usualmente operados en o cerca de la frecuencia de resonancia del elemento. De esta manera los elementos contenidos dentro de transductores de alta frecuencia deben ser más delgados que aquellos transductores de baja frecuencia.

Algunos transductores de banda ancha son diseñados para ser operados en más de una frecuencia. Con estos transductores, el instrumento ultrasónico determina la frecuencia de la onda de sonido emitida.

2.2.3 Material de soporte

Los transductores de pulso-eco son excitados por pulsos cortos de energía eléctrica desde un transmisor de pulsos en un instrumento ultrasónico. En respuesta al pulso de excitación, el elemento transductor zumba, vibrando a su frecuencia de resonancia. Este envía un pulso de sonido al medio.

2.2 Construcción de los transductores

2.2.1 Componentes básicos

Algunas propiedades generales del diseño de los transductores son aprovechadas en el trabajo de transmisión de pulso y recepción del eco, para poder usarlos como un elemento único, es decir, ser utilizados para transmitir y recibir la señal.

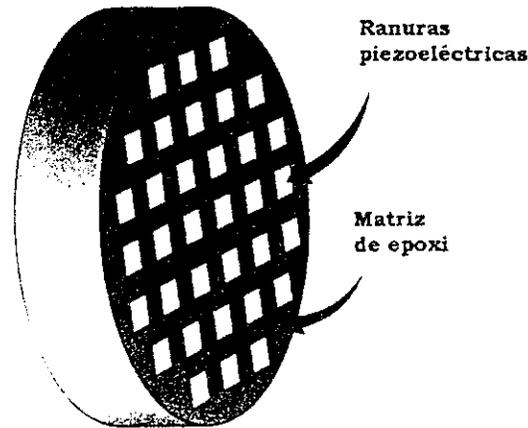
Los transductores que funcionan como elemento único son utilizados en varias aplicaciones de equipo médico ultrasónico. El elemento piezoeléctrico para tales aplicaciones es un disco plano circular. El elemento es montado coaxialmente en una cubierta cilíndrica. Es necesario un aislamiento acústico como corcho o caucho para evitar el acoplamiento de energía ultrasónica a la cubierta. Una cubierta metálica previene el introducir señales eléctricas extrañas de ruido por medio del transductor. Tales señales son indeseables porque contribuyen a un excesivo ruido durante la detección del eco.

2.2.2 Frecuencia de resonancia

Un transductor piezoeléctrico tiene una frecuencia de resonancia más eficiente en convertir la energía eléctrica a energía acústica y viceversa. La frecuencia de resonancia es determinada principalmente por el espesor del elemento piezoeléctrico. Semejante a las cuerdas de una guitarra, los elementos delgados tienen una frecuencia de resonancia alta y los elementos gruesos tienen una frecuencia baja de resonancia como se muestra en la figura 13.

El compuesto es una mezcla de una cerámica piezoeléctrica y otro material, como epoxi. Es formado por finas ranuras en la cara de un elemento piezoeléctrico regular. El espacio entre las ranuras es llenado con epoxi como se muestra en la figura 12.

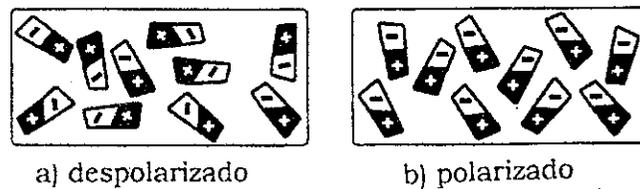
Figura 12. Elemento piezoeléctrico compuesto.



FUENTE: (ZAGZEBSKI, 1996. 22)

El elemento resultante es más ligero en peso que el elemento cerámico original. El compuesto cerámico-epoxi tiene muchas ventajas sobre los elementos cerámicos ordinarios. Primera, tienen más baja impedancia acústica que cerámicas ordinarias. Esto hace más fácil igualar la impedancia del transductor a la del medio por la cual viajará el sonido, lo cual es importante para una eficiente transmisión de ondas de sonido en un determinado medio. Segunda, se pueden fabricar para tener un ancho de banda amplio, esto es, el mismo transductor puede operar a diferentes frecuencias, o pueden ser fabricados para emitir pulsos que tengan una corta duración. Tercera, en muchos casos los materiales compuestos son más sensibles que los elementos piezoeléctricos cerámicos normales.

Figura 11. Descripción de un elemento transductor cerámico antes de la polarización (a) y después de la polarización (b).



FUENTE: (ZAGZEBSKI, 1996. 22)

Mecánicamente estos materiales son un poco quebradizos y pueden ser dañados si se dejan caer o se golpean. Durante su fabricación pueden ser formados en varias configuraciones, tales como planchas rectangulares, discos planos o discos cóncavos.

Para ser útiles para transmitir y recibir ondas ultrasónicas, estos elementos cerámicos deben primero ser polarizados. Esto se efectúa calentando los materiales arriba de la temperatura de Curie, 365°C para algunos materiales. Un alto voltaje es aplicado a través del elemento produciendo un alineamiento parcial, o polarización, de los cristales microscópicos como se muestra en la figura 11. El elemento es entonces enfriado con el voltaje aún aplicado. Ahora permanecerá polarizado y exhibirá las propiedades piezoeléctricas deseadas.

El elemento puede perder sus propiedades piezoeléctricas si es inadvertidamente calentado arriba de la temperatura de Curie.

2.1.3 Materiales piezoeléctricos compuestos

Un nuevo tipo de elemento transductor, un compuesto cerámico, es usado en muchos transductores y examinadores ultrasónicos.

2. TRANSDUCTORES EN EQUIPO MÉDICO

2.1 Propiedades de los transductores piezoeléctricos

2.1.1 El efecto piezoeléctrico

En general, el término transductor se refiere a cualquier dispositivo que es usado para convertir señales o energía de una forma a otra. Los transductores utilizados en ultrasonido emplean el efecto piezoeléctrico para generar ondas de sonido y detectar señales de eco. Tal efecto consiste en que al aplicar una fuerza perpendicular a las caras de un cristal de cuarzo se produce una carga eléctrica. Esta carga puede ser detectada y amplificada. De la misma manera, si una señal eléctrica es aplicada a un cristal de cuarzo, este vibra y envía una onda de sonido al medio. De aquí la acción de los transductores piezoeléctricos como detectores y transmisores de señales acústicas.

Además del cuarzo existe una sustancia también piezoeléctrica, llamada turmalina. Estos transductores son usados hoy en día en ultrasonido médico. Los transductores de cuarzo se encuentran aún en equipos de laboratorio para medidas de precisión acústica y ocasionalmente en equipos diseñados para aplicaciones de alta potencia. Sin embargo, en diagnósticos ultrasónicos el cuarzo ha sido sustituido por transductores piezoeléctricos de elementos cerámicos.

2.1.2 Elementos cerámicos

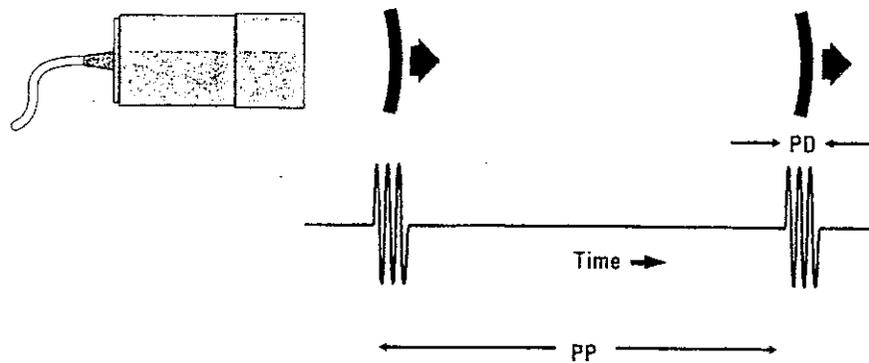
Estos elementos consisten en una mezcla de cristales microscópicos orientados aleatoriamente a través del volumen del elemento como se muestra en la figura 11

Donde c es la velocidad del sonido en el medio. El tiempo es la distancia total que el pulso debe viajar al reflector y regresar, $2D$, dividido por la velocidad del sonido.

1.13.2 Características del pulso y factor de trabajo

En la mayoría de aplicaciones de pulso-eco, el transductor pasa la mayoría del tiempo escuchando el eco reflejado en la interface. La fracción del tiempo en que el transductor está activamente transmitiendo sonido es llamado factor de trabajo. Típicamente el factor de trabajo es menor que 0.01 (1%). La figura 10 ilustra esto, las ondas corresponden a dos pulsos sucesivos emitidos por el transductor. Los parámetros mostrados en la figura son la duración del pulso, PD, y el periodo de repetición del pulso, PP.

Figura 10. Características de los pulsos para un transductor en un sistema pulso-eco.



FUENTE: (ZAGZEBSKI, 1996. 47)

La duración del pulso es el tiempo desde el principio de un pulso hasta el final del mismo. El periodo de repetición, es el tiempo desde el principio de un pulso al comienzo del siguiente.

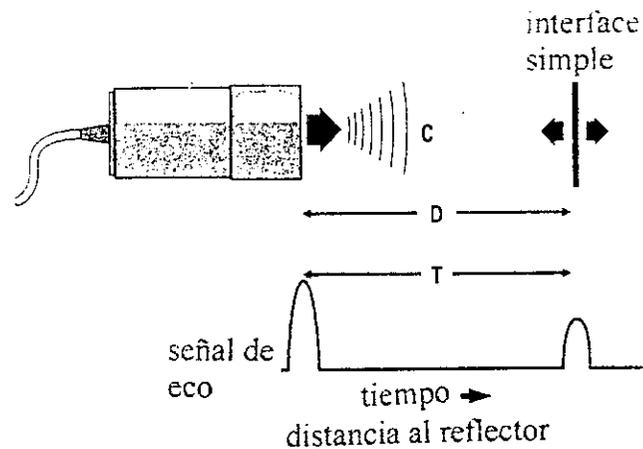
1.13 Pulso y eco

1.13.1 El rango de la ecuación del pulso y eco ultrasónico

Un transductor ultrasónico transmite pulsos acústicos de corta duración al medio. El pulso viaja a través del medio hasta que padece una reflexión parcial en la interface, dando como resultado una señal de eco que retorna al transductor. El tiempo que tarda entre transmitir un pulso y detectar la señal de eco es usado para determinar la distancia entre el transductor y la interface.

El principio se muestra en la figura 9. Un reflector es colocado a una distancia, D , del transductor. El tiempo, T , es el que tarda el pulso de sonido en viajar desde el transductor y al eco reflejado en regresar al mismo.

Figura 9. Rango de la ecuación en ultrasonido



FUENTE: (ZAGZEBSKI, 1996. 47)

El tiempo, T , está dado por la ecuación [9].

$$T = \frac{2D}{c} \quad [9]$$

La refracción se refiere a un “doblamiento” del haz de sonido, que es, un cambio en la dirección del haz transmitido, en la interface. Esto da como resultado un haz transmitido emergiendo en una dirección diferente a la del haz incidente. Son dos las condiciones requeridas para que la refracción de una onda de sonido ocurra.

1. El haz de sonido debe ser incidente sobre una interface en un ángulo que no sea perpendicular.
2. La velocidad del sonido debe ser diferente en los dos lados de la interface.

Ambas condiciones deben cumplirse. Si el haz incidente es perpendicular a la interface, no importa que la velocidad del sonido sea diferente entre los dos materiales que forman la interface, la refracción no ocurrirá. Igualmente, aún para un ángulo oblicuo de incidencia, si la velocidad del sonido no cambia a través de la interface, la refracción no ocurrirá.

La cantidad de refracción es predicha por la ley de Snell, está relaciona la dirección del haz transmitido a la dirección del haz incidente y la velocidad del sonido en los dos materiales de los que está formada la interface. Suponiendo que c_1 es la velocidad del sonido del lado de la interface del haz incidente y c_2 la velocidad del sonido del lado del haz transmitido, θ_i será el ángulo del haz incidente y θ_t el ángulo del haz transmitido como se muestra en la figura 8. La ley de Snell se expresa en la ecuación [8].

$$\frac{\text{Seno } \theta_t}{\text{Seno } \theta_i} = \frac{c_2}{c_1} \quad [8]$$

Este análisis debe envolver preferiblemente alguna clase de método cromatográfico. La calidad del extracto de la planta puede ser dada como una huella digital en el cromatograma (aceites esenciales) en el caso de que los componentes principales no sean conocidos o demasiado complejos.

1.5.1 Cromatografía de gas

Cuando un extracto de una planta contiene compuestos volátiles que sean de interés, la cromatografía de gas debe ser el método seleccionado a llevar a cabo.

La cromatografía de gas, la cual fue inicialmente desarrollada como una herramienta de análisis para la industria petroquímica, se ha vuelto indispensable para el trabajo con aceites esenciales y productos naturales en la industria de perfumes.

Los aceites esenciales contienen un largo número de compuestos y la cromatografía de gases es la única técnica que tiene suficiente poder de separación para dar una aceptable huella digital de tales mezclas.

El poder de separación de la cromatografía de gases en mezclas volátiles es tan amplia, que uno sólo necesita dos columnas capilares para toda la separación, una polar y una apolar.

Los compuestos volátiles tienen tiempos específicos de retención en las dos columnas y tentativamente puede ser posible una identificación.

Los constituyentes no volátiles pueden también ser analizados por la cromatografía de gases, pero estos compuestos necesitan ser transformados en derivados volátiles. Esta transformación no puede ser cuantitativa y así causar problemas en un análisis cuantitativo. De cualquier forma, como en un análisis clínico, cuando la detección limitada por otras técnicas es muy alta, no tenemos otra opción que usar los derivados. (Ref. 9)

2. METODOLOGÍA

2.1 Localización

El secado se llevó a cabo en el secador solar de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

El molido de la materia prima se realizó en un molino Thomas Wyley en el área de zootecnia de la facultad de veterinaria.

La parte experimental se realizó en el laboratorio de Química Industrial del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

El análisis cromatográfico se realizó con un cromatógrafo de gases Perkin Elmer 8500 con detector de ionización de llama con columna Supelco Wax de 30 m por 0.53 mm en la Unidad de Análisis Instrumental de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

2.2 Materiales

- Hoja de orégano (**Lippia graveolens**) procedentes de el departamento de El Progreso.
- Agua destilada
- Hielo

2.3 Equipo

- Balones
- Tubo de vidrio
- Balanza analítica
- Ampolla de decantación de 500 ml
- Beaker de 1000 ml
- Molino Wyley
- Anillos, soportes y pinzas
- Probeta de 50 ml
- Refrigerante horizontal
- Cámara de extracción
- Codos de vidrio
- Earlenmeyer de 250 ml
- Tapones de hule
- Jeringa de 1 ml

2.4 Metodología experimental

2.4.1 Diseño de tratamientos

Para la determinación del rendimiento en la extracción de aceite esencial de la hoja de orégano (**Lippia graveolens**) se analizaron dos factores, el primero el método a emplear, con dos niveles, por arrastre con vapor e hidrodestilación. El segundo el tamaño de muestra, con tres niveles, con lo cual se obtuvieron 6 tratamientos.

El tiempo de extracción de fijó en hora y media para cada experimento, tiempo en el cual se espera haber extraído la mayor cantidad de aceite esencial presente en la muestra, se utilizó un tamaño de partícula de 2 mm y se utilizó agua de enfriamiento con un rango de temperatura entre 15 y 18°C.

2.4.2 Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar, con un diseño factorial de (3x2), teniéndose tres variables independientes, las cuales son las diferentes cantidades de muestra y los dos métodos, con lo cual se obtienen seis factores, a los cuales se les aplicaron tres repeticiones.

2.4.3 Unidad experimental

Se utilizaron unidades experimentales de tamaño de muestra de 50, 125 y 200 g, tanto para el método de arrastre con vapor como para el método de hidrodestilación.

2.4.4 Manejo del experimento

Primero se hizo la recolección de la materia prima en el departamento de El Progreso. Dicha materia se secó en un secador solar y fue posteriormente clasificada, con el fin de tener únicamente las hojas.

Estas hojas fueron molidas en un molino Wyley de donde se obtuvo un tamaño de partícula de 2 mm con lo cual se trabajó.

Para el método de arrastre con vapor se armó el equipo que se muestra en la figura 5, se colocó la cantidad de muestra dentro de la cámara de extracción y se empezó a ebullición el agua del balón, lo cual se mantuvo en estas condiciones por un período de tiempo de 1.5 horas, el condensado de este vapor que ya había pasado a través de la muestra se recogió en un matraz. De aquí se extrajo el aceite mediante el uso de una jeringa y posteriormente se pesó la cantidad obtenida.

En el método de hidrodestilación se armó el equipo como se ilustra en la figura 4, después se colocó la muestra del orégano dentro del balón y se puso a ebullición en el mismo período de tiempo que el método anterior, al condensado obtenido se le aplicó el mismo tratamiento que al obtenido por arrastre con vapor.

2.5 Métodos experimentales

2.5.1 Arrastre con vapor

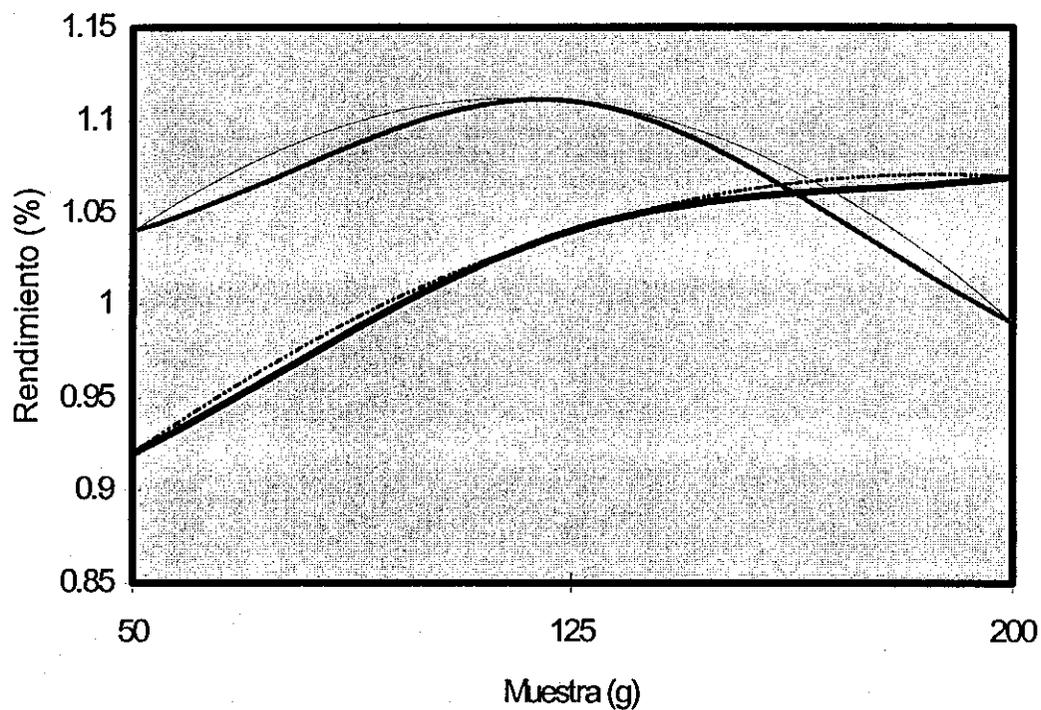
En este método se coloca la materia vegetal en una cámara de extracción, se hace pasar vapor a través de la muestra, este vapor arrastra el aceite esencial y posteriormente se condensa, obteniéndose dos fases, las cuales se separan por decantación. La cámara de extracción contiene una rejilla en el fondo para evitar el escape del material y permitir el paso del vapor a través de la muestra.

2.5.2 Hidrodestilación

En la hidrodestilación se coloca la muestra de materia prima en un balón y se le agrega agua, esta mezcla se calienta hasta ebullición, los vapores así formados se condensan, se recolectan en un matraz y por último se separan las dos fases obtenidas por decantación.

3. RESULTADOS

Grafica 1. % de rendimiento de aceite esencial en función del tiempo



— Hidrodestilación — Arrastre con vapor
- - - Correlación de hidrodestilación - - - Correlación de Arrastre con vapor

Se obtuvo la densidad del aceite con un valor de 0.911 gr/cm^3 .

Las siguientes ecuaciones polinomiales de grado 2 son las correlaciones mostradas en la gráfica 1 de resultados, para cada método.

Para el método de hidrodestilación:

$$\text{Ec. 3.1} \quad R = -0.045(T_m)^2 + 0.255(T_m) + 0.071 \quad r^2 = 0.99$$

Para el método de arrastre con vapor:

$$\text{Ec. 3.2} \quad R = -0.095(T_m)^2 + 0.355(T_m) + 0.078 \quad r^2 = 0.99$$

De la cromatografía realizada para cada método se lograron identificar los componentes que se presentan a continuación y sus respectivos porcentajes de área ocupados en el cromatograma.

Tabla II. Resultados de las cromatografías

Componente	Arrastre con vapor	Hidrodestilación
Mirceno	5.44	6.72
Limonelo	1.41	1.52
γ -Terpineno	5.00	2.96
Terpinoleno	6.27	6.13
Linalool	1.53	1.45
β -Cariofileno	6.41	12.47
Terpineol	5.61	5.55
Carvacrol	2.66	2.00

FUENTE: Cromatógrafo de gases, Escuela de Química, Facultad de Farmacia, USAC.

3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este trabajo se evaluó el rendimiento en la extracción de aceite esencial de orégano (**Lippia graveolens**) por los métodos de arrastre con vapor e hidrodestilación, debido a la importancia que éstos tienen en este tipo de procesos, teniendo como objetivo principal la determinación de cual de los dos métodos puede proporcionar el mayor rendimiento, evaluando a la vez el comportamiento al variar el tamaño de muestra utilizado en la extracción.

Según los resultados obtenidos en este trabajo de investigación, se determinó mediante un análisis de varianza con un índice de confiabilidad de un 95% que dichos resultados se vieron afectados únicamente por la variación en el tamaño de muestra, no así por el tipo de método empleado, a pesar de que se puede observar en la gráfica 1 que dichos métodos no presentan un comportamiento similar en el rango de tamaño de muestra utilizado, teniéndose para los tamaños de muestra de 50 y 125 gramos un mayor rendimiento con el método de arrastre con vapor, sin embargo para la muestra de 200 gramos se obtuvo un rendimiento mayor utilizando el método de hidrodestilación.

La obtención de un menor rendimiento en la muestra de 200 gramos por el método de arrastre con vapor se da debido a como se pudo observar en la realización del experimento, al tener este tamaño de muestra se da la compactación del material molido dentro de la cámara de extracción, con lo cual el vapor solamente podía fluir por canales que él mismo formaba al atravesar la muestra, por lo que el vapor no podía estar en contacto con todo el material de la muestra, obteniéndose un menor rendimiento en la extracción.

No se observó este mismo fenómeno en el método de hidrodestilación, pero es de esperarse que al ir aumentando el tamaño de muestra no se obtengan rendimientos que continúen la tendencia de la gráfica 1, debido a que al aumentar el tamaño de la muestra será necesario utilizar una mayor cantidad de agua para que todo el material esté en contacto con ella, con lo cual se tendría que modificar el tiempo de extracción para poder evaporar una cantidad de agua proporcional a la de la muestra.

Para el método de arrastre con vapor se logró un mayor rendimiento para un tamaño de muestra de 125 gramos y para el de hidrodestilación se tubo un máximo de rendimiento en el tamaño de muestra de 200 gramos para el rango evaluado.

Los rendimientos obtenidos tanto por el método de hidrodestilación como por el de arrastre con vapor estuvieron debajo de los esperados, ya que según la literatura se puede obtener hasta un 1.8%.

Esto se debió a que el tiempo utilizado en la extracción fue de una hora y media, constante para todos los experimentos, en el cual no se llegó al agotamiento del aceite esencial de las muestras utilizadas, lo cual se verificó cualitativamente, el período de agotamiento no se determinó ya que no estaba contemplado en este trabajo.

Es necesario aclarar que los resultados obtenidos en este trabajo no se pueden esperar en extracciones a nivel industrial, para lo cual sería necesario realizar primero un escalonamiento a nivel planta piloto.

También sería necesario hacer un análisis de otras variables , como lo son: mejoras en el equipo a utilizar, optimización del tiempo de extracción, mejoras en el cultivo de la planta, optimización en el tiempo de secado, el tamaño de partícula, los cuales van atados al aspecto económico, para hacer viable la realización de dichas extracciones.

En este trabajo se dejaron constantes todos los factores antes mencionados, entre ellos el tiempo de extracción mencionado anteriormente.

Toda la planta utilizada fue planta silvestre que se recolectó del mismo lugar, del departamento de El Progreso y se recolectó toda a la vez con lo cual se evitó utilizar plantas que tuvieran una composición distinta o un mayor o menor porcentaje de aceite esencial, ya que como se menciona en la referencia 1, esto puede variar según la región donde crezca la planta, así mismo las hojas fueron escogidas al azar para aleatorizar el posible error que pueda causar la edad de las mismas

El equipo y el procedimiento utilizados para cada método se dejó sin ninguna alteración para todas las corridas realizadas.

El tiempo de secado fue el mismo, de dos semanas a la sombra, ya que toda la planta se secó a la vez. Es importante mencionar que el secado es un factor muy importante en la extracción de aceites esenciales, ya que al llevarse a cabo se pierde aceite esencial por evaporación, por lo cual es necesario optimizar dicho tiempo.

Otro factor que influye en los rendimientos obtenidos es que en la cristalería queda adherida una cantidad de aceite al terminarse la extracción, dicho factor se aleatorizó dándole el mismo manejo a la recolección del aceite esencial de cada muestra.

El tamaño de partícula que se utilizó fue constante y se tomó de la referencia 7, trabajo en el cual se encontró que alrededor del valor de tamaño de la muestra de 2 mm se obtenían los mayores rendimientos.

La optimización del tamaño de partícula a emplear, es de gran importancia en la extracción de aceites esenciales, ya que al hacerla se rompen los compartimentos que contienen el aceite esencial y de esta manera es extraído más fácilmente por el vapor, en el caso del método de arrastre con vapor o queda en contacto directo con el agua en el caso del método de hidrodestilación, mientras que el aceite retenido dentro de los compartimentos que han quedado intactos es lentamente extraído por difusión hasta la superficie de la partícula.

Sin embargo para el método de arrastre con vapor, el contar con material muy fino tiene la desventaja de que se da el fenómeno que se mencionó anteriormente de la compactación del material con la consecuencia de no ser alcanzado en su totalidad por el vapor.

En el método de hidrodestilación por otro lado, se da otro fenómeno que afecta el rendimiento en la extracción, ya que al tener agua hirviendo en contacto directo con el material vegetal y a la vez con el aceite esencial se da la solubilidad de éste en el agua, con lo cual se tiene que llevar casi a una evaporación total del agua para tener mejores resultados en las extracciones.

Se realizó una cromatografía de gases a una muestra obtenida con cada método, con el fin de determinar la calidad del aceite obtenido y las variaciones en los componentes para cada método. Además de encontrarse un valor de la densidad del aceite obtenido de 0.911 gr/cm^3 el cual está entre el rango de $0.890\text{-}0.922 \text{ gr/cm}^3$ encontrado en la literatura.

En la cromatografía no se pudieron identificar plenamente muchos de los componentes, algunos de los cuales ocupaban un área relativamente grande en ambos cromatogramas, por no tenerse estándares de comparación.

Se pudo determinar que por ambos métodos se obtienen aceites esenciales con composiciones muy parecidas, variando muy poco el área bajo la curva. En la mayoría de los componentes se dio una variación menor al 20% entre ambos métodos. No siendo así en el γ -Terpineno, en el cual en el método de hidrodestilación se obtuvo un 59% de lo obtenido por el método de arrastre con vapor, dándose al contrario con el β -Cariofileno en el cual por el método de arrastre con vapor se obtuvo un 51% de lo obtenido por el método de hidrodestilación.

CONCLUSIONES

1. El rendimiento obtenido en la extracción de aceite esencial de orégano (**Lippia graveolens**) depende del tamaño de muestra a utilizar tanto por el método de arrastre con vapor como por el método de hidrodestilación.
2. Para el rango de muestras utilizado y las condiciones del experimento no existe una influencia significativa causada por el método a utilizar.
3. Según el análisis de varianza no existe interacción significativa entre las variables del tamaño de muestra y método a utilizar.
4. El rendimiento máximo en la extracción se obtiene con un tamaño de muestra de 125 gramos para el método de arrastre con vapor y para un tamaño de muestra de 200 gramos para el método de hidrodestilación.
5. Con el método de arrastre por vapor se obtienen mayores rendimientos con tamaños de muestra de 50 y 125 gramos, pero con un tamaño de muestra de 200 gramos se obtiene un mejor rendimiento por el método de hidrodestilación.

RECOMENDACIONES

1. Continuar con el estudio de extracción de aceites esenciales dándole especial atención a la variación de los factores que en éste y otros trabajos se han mantenido como constantes.
2. Mejorar las condiciones de este trabajo, como por ejemplo en el método de arrastre con vapor utilizar una cámara de extracción con varios niveles para poder trabajar con tamaños de muestra mayores o implementar el uso de equipos más sofisticados.
3. Hacer estudios económicos que contemplen la factibilidad del procesamiento industrial del orégano.
4. Extender el estudio de la extracción de aceites esenciales a plantas que sean nativas del país y de las cuales no se tenga mucha información bibliográfica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Armando Cáceres. **Plantas de uso medicinal en Guatemala** (Guatemala : Editorial Universitaria. Universidad de San Carlos de Guatemala, 1996). p. 287-289.
2. Centro de Comercio Internacional. UNCTAD/GATT. **Aceites esenciales y oleoresinas. Estudio de distintos productores y de mercados importantes.** (Suiza: 1986). p. 3-6.
4. ICTA. Disciplina de recursos fitogenéticos. **Presentación de resultados 1994-1995.** (Guatemala. Abril 1995). p.1-25.
5. Concyt. Proyecto No 74. **Evaluación de cuatro métodos para la extracción de aceites de jengibre, ajo y ajonjolí como productos de exportación .** (Guatemala: 1998). p. 1-15.
6. Jorge Alejandro Dominguez. **Métodos de investigación fitoquímica .** (México: Editorial LIMUSA S.A. de C.V. 1985). p. 229-239.
7. ICTA. Disciplina de recursos fitogenéticos. **"Presentación de resultados 1995"** . Marzo 1996.
8. Juan Alberto Retamar. **Aceites esenciales de especies vegetales diversas. Sus propiedades químicas.** (Argentina: IPNAYS CONICET-UNL-FIQ. 1982). p. 25-34.
9. Ronald Giovani Monzón Castellanos. "Determinación del rendimiento de aceite esencial de la hoja de naranja agria (*Citrus Aurantium*) en función del tamaño de partícula y el tamaño de muestra obtenido por medio del proceso de arrastre con vapor" (Tesis Ing. Químico, Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1998). p. 1-47.
9. Wijesekera. **Practical manual on tree essential oil industry.** (Austria: 1983). p. 99-153.

BIBLIOGRAFÍA

1. Conchra, WILLIAM. **Diseños Experimentales**. 2da edición. México DF: Editorial F. Trillas S.A. 1965. p 177-214.
2. Gómez, Romero. **El método experimental**. México: Editorial Harla S.A. de C. V. 1983. p 31-66.
3. Miller. **Probabilidad y estadística para ingenieros**. 3ra edición. México: Editorial Prentice-Hall Hispanoamericana S.A. 1986. p 220-230, 365-394, 415-423.
4. Palilow. **El gran libro de las plantas medicinales, salud a través de las fuerzas curativas de la naturaleza**. 5ta edición. España: Editorial Everest S.A. 1985. p 24, 271.
5. Piedrasanta, Benjamín. Extracción de aceite esencial de romero aplicando el método de arrastre con vapor a nivel planta piloto y laboratorio. Tesis Ing. Químico. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. 1997. p 1-47.
6. Selecciones del Reader's Digest. **Plantas medicinales (virtudes insospechadas de plantas conocidas)**. México: Editorial de Reader's Digest S.A. de C.V 1987. p 272.
7. Youngken, Herber. **Plantas medicinales**. México: Editorial Atlante S.A 1951. p 938-939.

APÉNDICE

A. Datos originales

Tabla III. Volumen de aceite esencial de orégano extraído por el método de hidrodestilación

Tamaño de muestra (g)	Volumen de aceite obtenido (ml)		
	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3
50	0.49	0.47	0.55
125	1.46	1.39	1.45
200	2.36	2.28	2.40

Tabla IV. Volumen de aceite esencial de orégano extraído por el método de arrastre con vapor

Tamaño de muestra (g)	Volumen de aceite obtenido (ml)		
	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3
50	0.52	0.64	0.56
125	1.49	1.62	1.47
200	2.05	2.20	2.28

B. Datos calculados

Densidad del aceite esencial = 0.911

Tabla V. Masa de aceite esencial de orégano extraído por el método de hidrodestilación

Tamaño de muestra (g)	Masa de aceite obtenido (g)		
	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3
50	0.45	0.43	0.50
125	1.33	1.27	1.32
200	2.15	2.08	2.18

Tabla VI. Masa de aceite esencial de orégano extraído por el método de arrastre con vapor

Tamaño de muestra (g)	Masa de aceite obtenido (g)		
	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3
50	0.48	0.58	0.51
125	1.36	1.47	1.34
200	1.86	2.00	2.07

Tabla VII. Promedio de masa obtenida y rendimiento de aceite esencial de orégano por el método de hidrodestilación

Muestra (g)	Total (g)	Promedio (g)	Rendimiento
50	1.374	0.458	0.916 %
125	3.913	1.304	1.043 %
200	6.406	2.135	1.068 %

Tabla VIII. Promedio de masa obtenida y rendimiento de aceite esencial de orégano obtenido por el método de arrastre con vapor

Muestra (g)	Total (g)	Promedio (g)	Rendimiento
50	1.565	0.522	1.043 %
125	4.168	1.389	1.111 %
200	5.942	1.981	0.990 %

C. Muestra de cálculo

1.- Densidad del aceite esencial del orégano:

Para la muestra de 125 g por hidrodestilación .

$$\rho = \frac{\text{peso de aceite obtenido (g)}}{\text{volumen de aceite obtenido (cm}^3\text{)}}$$

$$= \frac{1.33 \text{ g}}{1.46 \text{ cm}^3}$$

$$= 0.911 \text{ g/cm}^3$$

2.- Peso de aceite obtenido:

Para la corrida de 200 g por hidrodestilación.

$$\text{Peso} = \text{densidad} * \text{volumen}$$

$$= 0.911 \text{ g/cm}^3 * 2.36 \text{ g}$$

$$= 2.15 \text{ g}$$

3.- Promedio del peso de las muestras:

Para la muestra de 50 g por hidrodestilación.

$$\text{Promedio} = \frac{\sum \text{peso de las réplicas}}{\text{Número de réplicas}}$$

$$= \frac{(0.49 + 0.47 + 0.55)\text{g}}{3}$$

$$= 0.458 \text{ g}$$

4.- Rendimiento de la muestra:

Para la muestra de 50 g por hidrodestilación.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Promedio} * 100}{\text{Peso de la muestra}}$$

$$= \frac{0.458 \text{ g} * 100}{50 \text{ g}}$$

$$= 0.916 \%$$

D. Análisis de error

Para verificar la confiabilidad del experimento se realizó el siguiente análisis de varianza para un experimento de dos factores con repetición.

Tabla No IX. Sumatoria entre muestras y réplicas

Muestra (g)	Método	Réplicas (g)			Total (g)
50	Hidrodestilación	0.45	0.43	0.50	1.38
	Arrastre con vapor	0.47	0.58	0.51	1.56
125	Hidrodestilación	1.33	1.27	1.32	3.92
	Arrastre con vapor	1.36	1.47	1.34	4.17
200	Hidrodestilación	2.15	2.08	2.18	6.41
	Arrastre con vapor	1.86	2.00	2.07	5.93
Total		7.62	7.83	7.92	23.37

$$\begin{aligned}
 V = \sum_{j,k} X^2_{j,k} - T^2/a*b &= 0.45^2+0.43^2+0.50^2+0.47^2+0.58^2+0.51^2+1.33^2+ \\
 &1.27^2+1.32^2+1.36^2+1.47^2+1.34^2+2.15^2+2.08^2+ \\
 &2.18^2+1.86^2+2.00^2+2.07^2 - 23.37^2/(6*3) \\
 &= 7.48885
 \end{aligned}$$

$$V_s = \sum_{1,k} (\sum X_j)^2 - T^2/a*b = 1.38^2/3 + 1.56^2/3 + 3.92^2/3 + 4.17^2/3 + 6.41^2/3 + 5.93^2/3 - 23.37^2/18$$

$$= 7.44005$$

Tabla No X. Sumatoria entre muestras y métodos

Muestra (g)	∑Hidrodestilación (g)	∑Arrastre con vapor (g)	Total (g)
50	1.38	1.56	2.94
125	3.92	4.17	8.09
200	6.41	5.93	12.34
Total	11.71	11.66	23.37

$$V_r = 1/b \sum T_j^2 - T^2/ab = 2.94^2/6 + 8.09^2/9 + 12.34^2/9 - 23.37^2/18$$

$$= 7.38583$$

$$V_c = 1/a \sum T_k^2 - T^2/a*b = 11.71^2/9 + 11.66^2/9 - 23.37^2/18$$

$$= 0.00014$$

$$V_i = V_s - V_r - V_c = 7.44005 - 7.38583 - 0.00014$$

$$= 0.05408$$

$$V_e = V - (V_r + V_c + V_i) = V - V_s = 7.48885 - 7.44005$$

$$= 0.0488$$

$$S^2_r = V_r/(a-1) = 7.38583/(3-1)$$

$$= 3.6929$$

$$S^2_c = V_c / (b-1) = 0.00014 / (2-1) \\ = 0.00014$$

$$S^2_i = V_i / ((a-1)*(b-1)) = 0.05408 / ((3-1)*(2-1)) \\ = 0.02704$$

$$S^2_e = V_e / ((a-1)*(b-1)) = 0.0488 / ((3-1)*(2-1)) \\ = 0.0244$$

$$F \text{ (filas)} = S^2_r / S^2_e \text{ con } a-1 \text{ y } ab(c-1) \text{ grados de libertad} \\ = 3.693 / 0.0244 \\ = 151.352$$

$$F \text{ (columnas)} = S^2_c / S^2_e \text{ con } b-1 \text{ y } ab(c-1) \text{ grados de libertad} \\ = 0.00014 / 0.0244 \\ = 0.0057$$

$$F \text{ (interacción)} = S^2_i / S^2_e \text{ con } (a-1)(b-1) \text{ y } ab(c-1) \text{ grados de libertad} \\ = 0.02704 / 0.0244 \\ = 1.108$$

F para 2 y 13 grados de libertad = 3.81

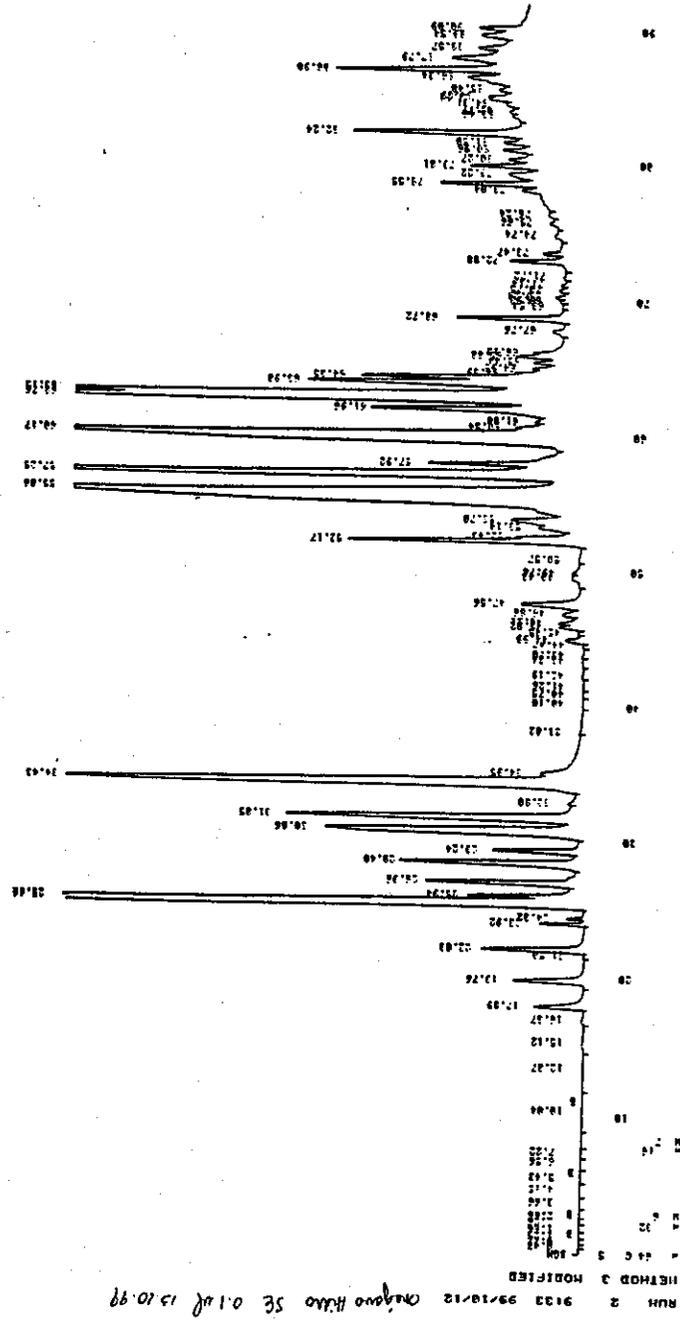
F para 1 y 13 grados de libertad = 4.67

Tabla XI. Análisis de varianza

Variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	F
Filas (muestras) Vr= 7.38583	2	S ² r= 3.6929	151.352
Columnas (métodos) Vc= 0.00014	1	S ² c= 0.00014	0.0057
Interacción Vi= 0.05408	2	S ² i= 0.02704	1.108
Subtotal Vs= 7.44005	5		
Aleatorio o residual Ve= 0.0488	13	S ² e= 0.0244	
Total V= 7.48885	17		

E. Datos complementarios

Figura 2. Cromatograma del aceite esencial de orégano obtenido por el método de hidrodestilación



FUENTE: Cromatógrafo de gases, Escuela de Química, Facultad de Farmacia, USAC

Tabla XII. Tiempos de retención y área del cromatograma del aceite esencial de orégano obtenido por el método de hidrodestilación

METHOD 3 MODIFIED		CALCULATION: %	
RT	AREA	BC	AREA %
17.39	6.0091	T	0.4094
19.76	8.1730	T	0.5569
22.03	9.9646	U	0.6789
25.46	98.7168	T	6.7264
25.62	25.3075	T	1.7244
25.94	10.6479	T	0.7255
26.96	18.7346	T	1.2765
28.40	22.2941	T	1.5191
29.24	9.7035	T	0.6611
30.86	46.5254	T	3.1701
31.85	43.4985	T	2.9639
32.80	3.3463	T	0.2280
34.43	90.0257	T	6.1342
34.95	13.9341	T	0.9494
47.56	9.5312	T	0.6494
52.17	21.2372	T	1.4470
52.43	4.6647	T	0.3178
53.14	4.9067	T	0.3343
53.70	12.1043	T	0.8247
55.86	183.1079	T	12.4768
57.25	95.8180	T	6.5289
57.92	21.3452	T	1.4544
60.17	127.6272	T	8.6964
60.54	6.6569	T	0.4535
61.00	4.6947	T	0.3198
61.96	30.0976	T	2.0508
62.76	81.4077	T	5.5470
63.15	53.8778	T	3.6711
63.98	36.3343	T	2.4757
64.35	19.4575	T	1.3258
64.59	3.9052	T	0.2661
64.95	4.5135	T	0.3075
65.44	4.0911	T	0.2787
65.88	5.4437	T	0.3709
66.15	5.9776	T	0.4073
67.76	3.1153	T	0.2122
68.72	11.1600	T	0.7604
72.80	5.2678	T	0.3589
78.04	13.3206	T	0.9076
78.55	12.7344	T	0.8677
79.22	10.1569	T	0.6920
79.81	10.5964	T	0.7220
80.27	7.7064	T	0.5251
80.96	6.3710	T	0.4303
81.50	8.8266	T	0.6014
82.24	30.9926	T	2.1118
83.46	9.2153	T	0.6279
83.77	6.6824	T	0.4553
84.31	7.6003	T	0.5178
84.73	6.9282	T	0.4720
84.89	6.4790	T	0.4414
85.40	9.4454	T	0.6436
86.34	22.7096	T	1.5474
86.90	29.4740	T	2.0083
87.79	24.9556	T	1.7004
88.57	16.8205	T	1.1461
89.54	14.1440	T	0.9637
90.09	23.6436	T	1.6110
92.90	20.3754	T	1.3983
96.53	3.1812	T	0.2167

60 PEAKS > AREA/HT REJECT

FUENTE: Cromatógrafo de gases, Escuela de Química, Facultad de Farmacia, USAC.

Figura 3. Cromatograma del aceite esencial de orégano obtenido por el método de arrastre con vapor

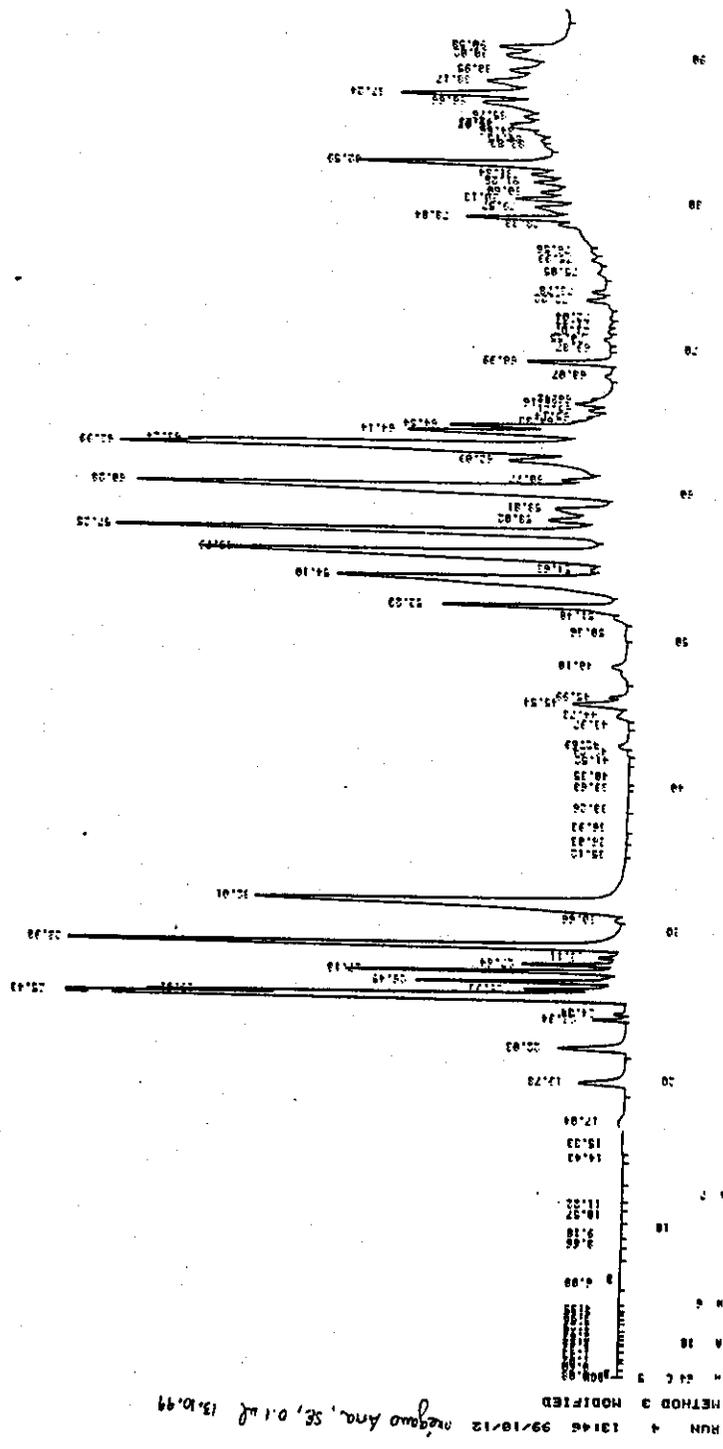


Tabla XIII. Tiempos de retención y áreas del cromatograma del aceite esencial de orégano obtenido por el método de arrastre con vapor

METHOD 3	MODIFIED	CALCULATION: %	
RT	AREA	BC	AREA %
19.78	5.5944	T	0.5151
22.03	7.1899	T	0.6189
25.43	63.1658	T	5.4377
25.61	21.8042	T	1.8770
25.93	6.5496	T	0.5638
26.45	12.7598	T	1.0984
27.18	16.4079	T	1.4125
27.64	6.4787	T	0.5577
28.98	58.0281	T	4.9954
32.01	72.8516	T	6.2715
45.54	6.6486	T	0.5716
48.10	4.1349	V	0.3559
52.23	17.7558	T	1.5285
54.10	56.7386	T	4.8844
54.63	4.1699	T	0.3589
55.79	74.5253	T	6.4156
57.25	62.9606	T	5.4200
58.02	10.5437	T	0.9076
58.81	12.4812	T	1.0744
60.28	81.4595	T	7.0125
60.77	6.7178	T	0.5783
62.09	25.1487	T	2.1649
62.99	65.2680	T	5.6186
63.24	30.1713	T	2.5973
64.14	25.4196	T	2.1882
64.54	14.3054	T	1.2315
64.83	3.7288	T	0.3210
65.14	3.2264	T	0.2777
65.71	3.0684	T	0.2634
66.16	3.9482	T	0.3398
66.42	3.9323	T	0.3385
68.99	8.0526	T	0.6932
73.99	3.1139	T	0.2651
78.38	15.8463	T	1.3641
78.84	14.4029	T	1.2398
79.57	12.8448	T	1.1057
80.13	10.8062	T	0.9302
80.60	9.4608	T	0.8144
81.28	10.5493	T	0.9081
81.84	10.6635	T	0.9197
82.59	37.2454	T	3.2063
83.63	12.1763	T	1.0483
84.15	7.2166	T	0.6212
84.66	9.2018	T	0.7921
85.07	10.2145	T	0.8793
85.23	8.0049	T	0.6891
85.76	10.4789	T	0.9020
86.66	27.9388	T	2.4051
87.24	30.9722	T	2.6662
88.17	27.0617	T	2.3296
88.95	18.7824	T	1.6169
90.02	19.1901	T	1.6520
90.58	26.3904	T	2.2718
93.40	22.4689	T	1.9342
95.74	3.3098	T	0.2849
96.90	4.5612	T	0.3926
98.34	3.0878	T	0.2658

57 PEAKS > AREA/HT REJECT

FUENTE: Cromatógrafo de gases, Escuela de Química, Facultad de Farmacia, USAC

Figura 5. Diagrama del equipo utilizado en el método de arrastre con vapor

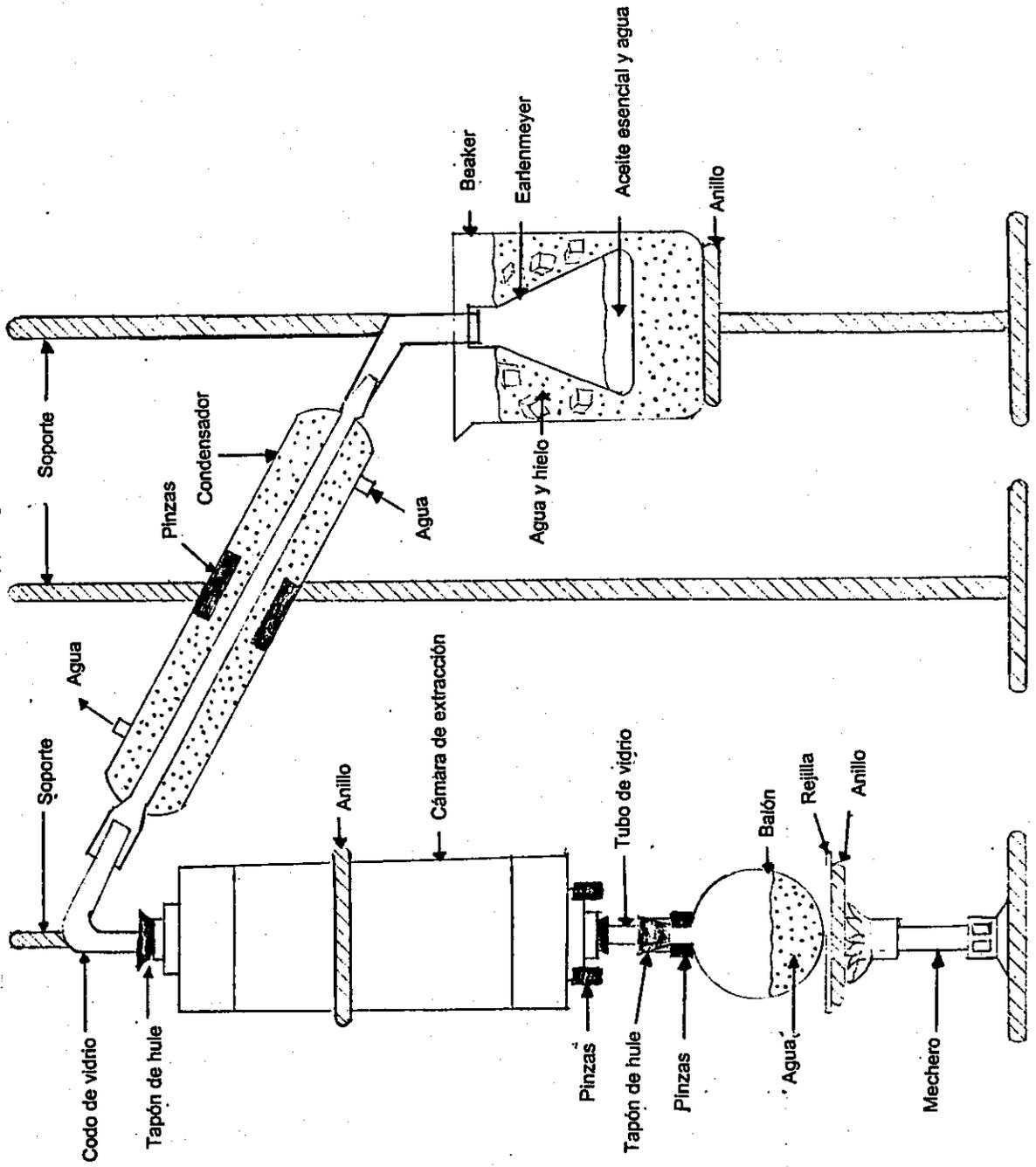


Figura 6. Diagrama de bloques del proceso

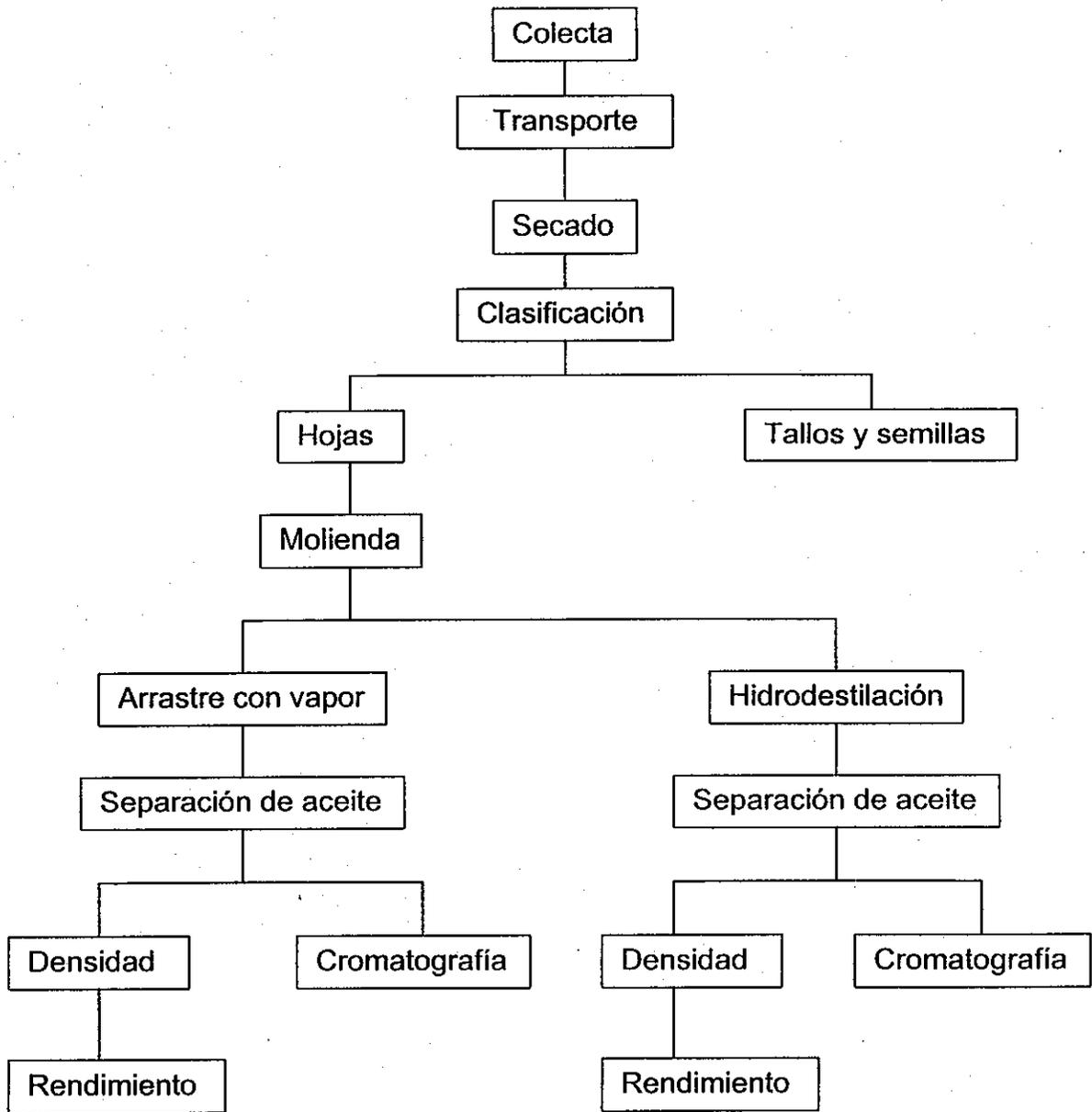


FIGURA 7. Ilustración del orégano (*Lippia graveolens*)



FUENTE: ICTA. Disciplina de Recursos Fitogenéticos.