

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA



Trabajo de Graduación:

**Diseño Optimo y Construcción
de una Cocina Eléctrica (110 v - 220 v),
Económica y de bajo Costo
Para la Producción de Tortillas**

presentado por:

Erasmó Hércules Del Cid

José Benjamín Pérez

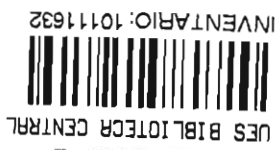


Para Optar al Título de

Ingeniero Electricista

Agosto de 1987

T
683.83
H539d



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

RECTOR:

LIC. JOSE LUIS ARGUETA ANTILLON

SECRETARIO GENERAL:

ING. RENE MAURICIO MEJIA MENDEZ

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO:

ING. ROBERTO BRAN GIRALT

SECRETARIO a. i.:

ING. MARIO ARNOLDO MOLINA ARGUETA

POR DIRECTOR DE LA ESCUELA DE ING. ELECTRICA:

ING. ROBERTO BRAN GIRALT

TRABAJO DE GRADUACION

COORDINADOR:



ING. ULISES ZELAYA PINZON



ASESOR:



ING. JORGE ALBERTO ZETINO CHICAS

TRABAJO DE GRADUACION

PRESENTADO POR:

ERASMO HERCULES DEL CID

JOSE BENJAMIN PEREZ

PREVIA OPCION AL TITULO DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

DEDICATORIA

A DIOS PADRE TODOPODEROSO: PORQUE EL AMOR A DIOS ES EL PRINCIPIO DE LA SABIDURIA, Y EL CONOCIMIENTO DEL SANTISIMO ES LA INTELIGENCIA. PORQUE LA SABIDURIA ES DE DIOS Y NO DEL HOMBRE.

A MIS PADRES: GERARDO HERCULES CORDOVA Y SALVADORA DEL CID HERNANDEZ QUE ME DIERON TODO EL APOYO, AMOR, COMPRENSION DESDE QUE DI MIS PRIMEROS PASOS Y AUN SIGUEN DANDOME ESO Y MAS ASI COMO TODOS LOS SACRIFICIOS REALIZADOS, QUE HICIERON POSIBLE MI CARRERA.

A MIS HERMANOS: NELSON, CECILIA, GERARDO Y ARNOLDO QUE SON PARTE DE MI VIDA.

A MI ESPOSA E HIJO: QUE ME AYUDARON CON AMOR Y DESVELOS A CULMINAR UN GRAN IDEAL EN MI VIDA.

E. H. D.

DEDICATORIA

A LA DIVINA PROVIDENCIA; A MI MAMA, HILMA
ALEJANDRA PEREZ; A MIS HERMANOS JOSE
FRANCISCO Y JOSE ANTONIO Y A TODAS AQUELLAS
PERSONAS QUE DE UNA U OTRA MANERA
CONTRIBUYERON EN EL LOGRO DE ESTA META.

J. B. F.

INDICE

	INTRODUCCION	6
I	DEFINICIONES Y CONCEPTOS FUNDAMENTALES	10
II	EL PROBLEMA DEL CONSUMO DE LA LENA	17
III	MEDICION DE LA EFICIENCIA DE LA COCINA ELECTRICA	32
IV	ALTERNATIVAS DE SOLUCION	37
V	DISEÑO	44
VI	CONSTRUCCION	60
VII	NOCIONES SOBRE TRANSFERENCIA DE CALOR	64
VIII	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	84
IX	BIBLIOGRAFIA	89

INTRODUCCION

Dentro de la crisis energética mundial que se está dando actualmente, el aumento de la demanda de energía en todos los países del mundo así como la existencia limitada de recursos energéticos posibles de utilizar económicamente, han conducido a un aumento del costo de la energía y a una escasez progresiva de los combustibles tradicionales.

El balance energético en la región Centroamericana presenta una característica bien particular, ya que en términos generales se aprecia una notable dependencia de dos formas de energía: el petróleo y la leña. Ambos energéticos cubren en promedio, cerca del 90 % del consumo final (34 % de los derivados del petróleo y 53 % de la leña), constituyendo los dos aspectos más sobresalientes de la problemática energética regional.

La Universidad de El Salvador, tomando conciencia de los problemas nacionales, a través de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, en un afán de resolver los problemas que aquejan a nuestro país, propuso el presente Seminario de Graduación como una alternativa para nuestros problemas energéticos y ambientales que actualmente aquejan a El Salvador.

Con este trabajo se pretende desarrollar una alternativa que contribuya en parte a resolver el problema del consumo de la leña. Existen otros trabajos con esta misma finalidad, tanto Universitarios como Gubernamentales, los cuales tienen en común desarrollar sistemas de combustión más eficientes para la leña, tratando así de disminuir la cantidad del combustible. Sin embargo, el consumo de la leña según se plantea en dichos trabajos, establece que a medida aumenta la población aumentaría con ésta gradualmente el consumo de la leña, haciendo únicamente un desfase de las consecuencias propias del problema.

El objetivo de este trabajo, tal como fue concebido por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, es desarrollar un sistema económico de cocimiento para tortillas sin emplear leña, aprovechando los recursos eléctricos con que cuenta el país.

Uno de los principales rubros para los que se destina la leña es el cocimiento de tortillas, debido a que éstas forman parte de la alimentación diaria de la población, lo cual se puede apreciar por ejemplo, en las zonas metropolitanas. La mayoría de las ciudades en El Salvador cuentan con un buen sistema de distribución de energía eléctrica y sin embargo, casi en su totalidad, las tortillas son elaboradas con el consumo de leña.

En el campo, con los programas de Electrificación Rural

que la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL) impulsa, la energía eléctrica se va haciendo cada día más popular en los sectores rurales, pero el consumo de leña seguirá siendo siempre considerable, debido a que sustituir la leña en la cocción de los alimentos por los medios con que cuenta el mercado actual representaría un gasto que estaría fuera del alcance de la familia campesina.

A eso se debe que el diseño propuesto en este trabajo sea hasta cierto punto rudimentario, puesto que de otra forma los costos para la elaboración de dicha cocina serían demasiado altos. Por otro lado buscar una forma alternativa de energía elevaría también los costos de tal manera que la familia promedio no podría optar a la sustitución de la leña por energía eléctrica.

Gran parte de lo presentado en este trabajo es proveniente de la investigación de otros autores los cuales aparecen en las referencias. Se partió de la base existente para darle una nueva solución a un problema que aqueja al país desde hace mucho y que actualmente se le está dando mucha importancia.

Los autores agradecen a todas aquellas personas que han hecho posible llevar a feliz término el presente Seminario de Graduación, en especial al asesor del mismo Ing. Jorge Alberto Zetino Chicas quien a lo largo de todo el desarrollo nos brindó su apoyo. Así mismo, se les agradece a los Ings.

Jesús Rodolfo Cáceres y Francisco Deleón por su colaboración en la parte de Transferencia de Calor; al Ing. José Roberto Serrano y al Departamento de Fuentes no Convencionales de Energía de la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa por la valiosa información obtenida de ellos. También se le agradece a las Superintendencias de Servicios Técnicos y Mantenimiento de Líneas por el decidido apoyo dado al presente Seminario.

I. DEFINICIONES Y CONCEPTOS FUNDAMENTALES

A continuación se presentan las definiciones y conceptos utilizados en los balances energéticos elaborados en el país, para así después mostrar esquemáticamente el diagrama de un balance energético quedando en evidencia la gran contribución de la leña al consumo de energía total de El Salvador. Se comenzará pues, por definir lo que se entiende por un Balance Energético.

BALANCE ENERGETICO

En un Balance Energético, toda la información física orientada al planeamiento energético, es sistematizada; de tal manera que se sigue un modelo que presente en una forma ordenada, la estructura del sector energético. Con esto se logra que queden articuladas convenientemente las relaciones que tienen lugar entre las variables físicas.

El objetivo de un Balance Energético es pues, mostrar en una forma sistemática todos los procesos que se llevan a cabo con la Energía, desde su origen hasta su consumo, aplicando en cada uno de estos procesos el principio de conservación de la Energía; es decir, que la cantidad de energía que entra a un determinado proceso debe de ser igual a la cantidad de energía que sale del mismo proceso.

El diagrama esquemático de un Balance Energético se muestra en la figura No. 1.

Se observan, claramente diferenciadas en el esquema, las distintas partes constitutivas del mismo: origen de la energía primaria, destino de la energía primaria, centros de transformación, origen de la energía secundaria, consumo de energía secundaria y reciclos de la energía secundaria.

Esta partición sigue la secuencia del proceso energético desde las fuentes primarias hasta el consumo final. Así, la primera columna de nodos corresponde a la energía primaria, y es en ella donde se efectúa el primer balance de energía. Esta energía es luego transformada en energía secundaria, la que también es sometida a un balance; y finalmente, dicha energía secundaria es consumida por los distintos sectores económicos, a la vez que parte de la misma es reciclada a los centros de transformación para volver a producir otra forma de energía secundaria.

ENERGIA PRIMARIA

Se entiende por energía primaria a las distintas formas de energía tal como se obtienen de la naturaleza sin ningún proceso de transformación.

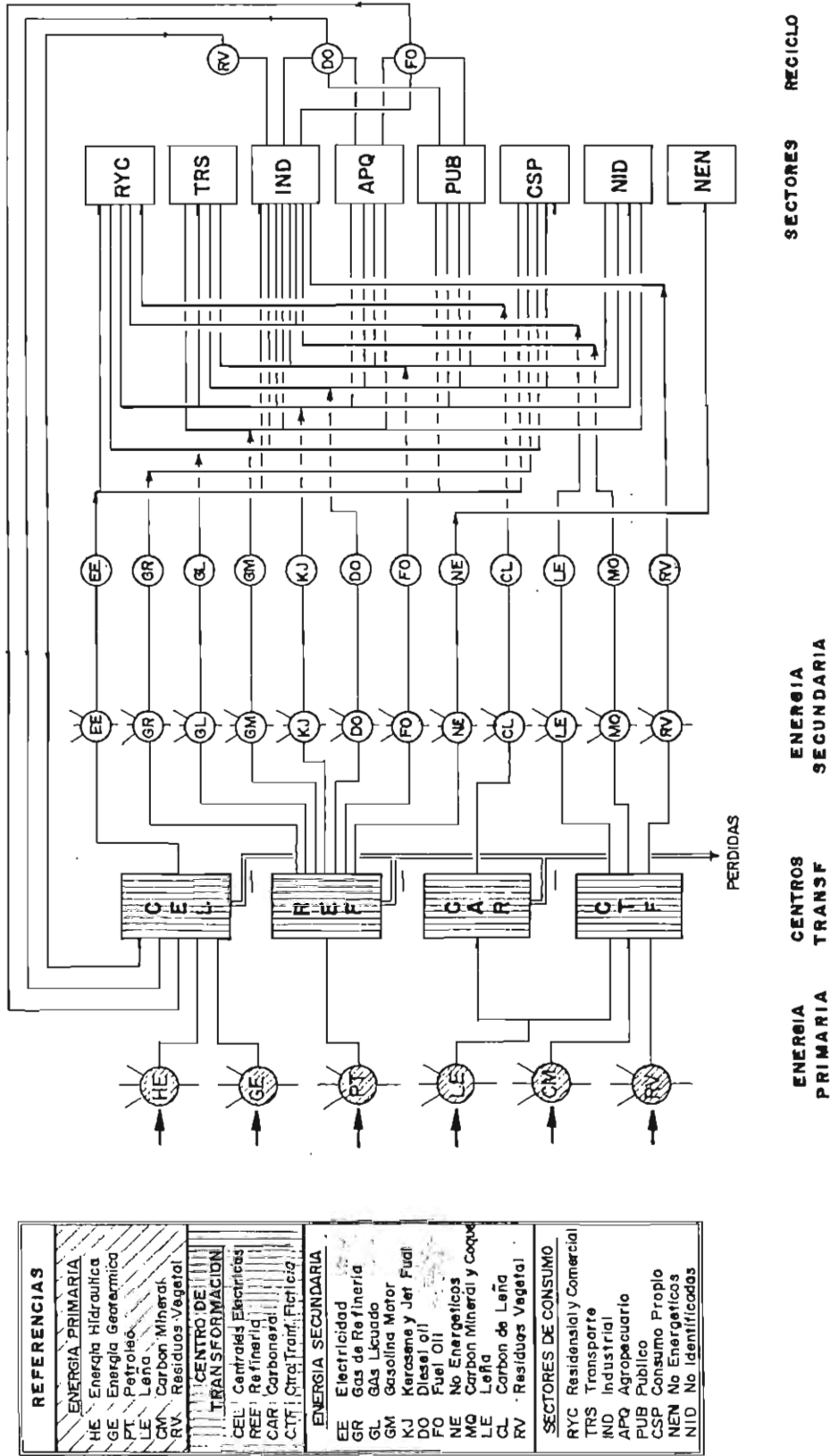
Las formas de energía primarias consideradas son:

HE Energía Hidráulica.

GE Energía Geotérmica.

FIGURA I

DIAGRAMA DE FLUJOS ENERGETICOS EN UN BALANCE ENERGETICO



PT Petr3leo.
CM Carb3n Mineral.
LE Leña
RV Residuos Vegetales.

CENTROS DE TRANSFORMACION

Son las instalaciones en las que se efectúa la conversi3n de la energía primaria a secundaria.

Los Centros de Transformaci3n existentes en el paíis son:

CEL Centrales Eléctricas
REF Refinerías
CAR Carboneras

Dado que hay ciertas formas de energía primaria que pueden consumirse como tal, sin transformarse, y para mantener la coherencia formal del modelo, se agrega un Centro de Transformaci3n Ficticio (CTF) por el cual pasan dichos flujos sin sufrir ninguna alteraci3n. De esta manera el destino forzoso de toda energía primaria es un Centro de Transformaci3n.

ENERGIA SECUNDARIA

Se considera como energía secundaria a los diferentes productos energéticos destinados a los sectores de consumo.

De acuerdo a las definiciones precedentes, surge que el único origen posible de toda energía secundaria es un Centro de Transformación, y el único destino posible es un Centro de Consumo.

Se toman en cuenta doce formas de energía secundaria:

EE	Energía Eléctrica
GR	Gas de Refinería
GL	Gas Liquado
GM	Gasolina para Motor (incluye gasolina de avión)
DO	Diesel Oil
KJ	Kerosene y Jet Fuel
FO	Fuel Oil (Bunker C)
NE	No Energéticos
MQ	Carbón Mineral y Coque
LE	Leña
CL	Carbón de Leña
RV	Residuos Vegetales.

CENTROS DE CONSUMO:

Son los Sectores económicos a los cuales se destina la energía para sus diferentes usos finales. Estos sectores de consumo son:

-Residencial y Comercial (RYC).

En este sector se incluyen los flujos que corresponden a las necesidades domésticas y a las actividades

comerciales del país.

-Transporte (IRS).

Incluye todos los consumos utilizados para el transporte terrestre público y privado, aéreo, ferroviario y marítimo.

-Industria (IND).

Comprende todos los flujos que corresponden a las necesidades agrícolas, pecuarias y lo que se refiere a la actividad pesquera.

-Público (PUB).

Incluye los consumos de derivados del petróleo que las empresas eléctricas de servicio público efectúan para la generación termoeléctrica, así como el consumo de electricidad de las dependencias gubernamentales.

-Consumo Propio (CSP).

Incluye los consumos de la propia industria energética, y se compone básicamente de los combustibles utilizados para la refinación del petróleo y la electricidad empleada en las plantas eléctricas de servicio público.

-No Energéticos (NEN).

Comprende los consumos de productos no energéticos derivados del petróleo, los cuales se agrupan en un único sector no sólo por metodología, sino por el gran esfuerzo que supondría estudiar su distribución entre el transporte, la industria, etc.

-No Identificados (NID).

En este sector se incluyen los flujos que no pudieron ser ubicados en los sectores antes mencionados.

RECICLOS DE ENERGIA

Se denomina reciclo de energía secundaria a la que vuelve a ingresar a los centros de transformación para un nuevo proceso de conversión, como por ejemplo, los derivados del petróleo utilizados para generar electricidad.

TERA CALORIA

Es la unidad de energía elegida para expresar los balances salvadoreños, así como también los otros balances centroamericanos. La Tera caloria es un múltiplo de la caloria (Tera significa 10^{12}) y su abreviatura correspondiente es Tcal. Así pues, $1 \text{ Tcal} = 10^{12}$ calorías; además, $1 \text{ Kcal} = 1000$ calorías y también $1 \text{ KWH} = 860 \text{ Kcal}$.

II. EL PROBLEMA DEL CONSUMO DE LA LEÑA

El problema del uso de las fuentes no comerciales de energía (leña, residuos vegetales como el carbón) es en realidad un problema social el cual está relacionado con la pobreza de nuestro campo, originado por el régimen de tenencia de tierra, del bajo nivel educativo, el sub-empleo y del aislamiento de estos grupos de los centros de consumo, por mencionar algunas causas.

El problema de la sustitución de estas fuentes no comerciales de energía por derivados del petróleo, como el Kerosene o el LPG (Liquid Petroleum Gas), dado el actual precio de estos productos, plantea un verdadero reto para la planificación energética, el cual sólo puede ser resuelto con un enfoque integral del sector Energía.

A nivel mundial, el problema del consumo de leña se presenta con una mayor agudeza en los países pobres, tal es así, que para el año de 1974, el uso de leña a nivel mundial se distribuyó de la siguiente manera:

En los países desarrollados el consumo de madera fue de 155 millones de m³ al año, de los cuales para leña se destinaron el 10% proporcionando así un 0.4% de toda la energía que se consumió. En cambio en los países subdesarrollados, el consumo de madera fue de 1200 millones

de m³ al año, siendo el 90% de este utilizado para leña, representando así un 25% de toda la energía que se consume⁽¹⁾.

Puede notarse entonces, que el consumo de madera en los países subdesarrollados, es casi 7.8 veces más grande que en los países desarrollados y que además casi toda esa madera es destinada a quemarse para satisfacer las necesidades energéticas domésticas. Esto justifica el hecho de que en países pobres, la leña represente la fuente que provee el mayor porcentaje de energía consumida.

En América Latina, la utilización de la leña como fuente primaria de energía, está muy difundida, especialmente en América Central y el Caribe, en donde se puede afirmar, que es la principal fuente de energía.

En el análisis del sector Energía a partir de los Balances Energéticos de cada país de América Latina, la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), determina que el consumo final total de leña en esa región para el año de 1978, es de 48487 toneladas equivalentes de petróleo (TEP) que traducido a unidades de peso representan 134,686,111 toneladas de leña, de las cuales el sector Residencial, Comercial y Público consume 111,236,111, o sea, cerca del 83% ⁽²⁾.

En Centro América (incluyendo Panamá), también dicho sector presenta la mayor participación en el consumo final

energético, seguido del sector Industrial y del sector Transporte. Así pues, para 1978, el sector Residencial, Comercial y Público, consumió el 54% de la energía total, correspondiendo un 86% de este consumo a la leña, un 6% al consumo de electricidad y un 3% al consumo de kerosene, estas cifras dan una clara idea de la alta dependencia que tiene Centro América de la leña para satisfacer sus necesidades energéticas, principalmente domésticas. En efecto, el consumo de la leña en Centro América y Panamá durante 1978 fué de 15,577,777 toneladas de las cuales 14,086,111 fueron consumidas en el sector residencial y el resto (1,491,667 toneladas), en el sector industrial (e).

En el cuadro de la tabla 1, aparecen algunas variables que indican lo crítico que el consumo de leña es en los países centroamericanos. Se observa claramente en el cuadro, que Guatemala es el país que consume una mayor cantidad de leña, siguiendo en su orden El Salvador, luego Honduras, Nicaragua, Costa Rica y finalmente Panamá. Pero considerando su excesiva cantidad de habitantes, su elevado porcentaje de población rural y lo altamente escaso de su territorio y por ende su limitación en recursos forestales, resulta obvio que el problema más crítico lo presenta El Salvador con respecto al resto de países centroamericanos.

Dado que para los objetivos del presente estudio lo que interesa es la problemática de la leña en El Salvador, a continuación se hablará un poco más en detalle al respecto.

TABLA No. 1

CONSUMO TOTAL DE LENA EN TONELADAS PARA LOS
PAISES DE CENTROAMERICA Y PANAMA EN 1978

PAIS	EXTENSION	POBLACION	POBLACION	HAB/KM	TON. LENA		TOTAL TON
	KM ²	HABITAN.	RURAL %		R Y C	IND	LENA
GUATEMALA	108,889	6,813	70.6	62.6	4,341,667	900,000	15,241,667
HONDURAS	112,088	3,564	64.9	32.0	2,683,333	283,333	12,966,667
EL SALVADOR	20,935	4,436	59.8	212.0	3,694,444	80,556	13,775,000
NICARAGUA	139,000	2,463	43.4	18.0	1,411,111	158,333	11,569,444
COSTA RICA	50,900	2,166	54.8	42.6	1,158,333	50,000	11,208,333
PANAMA	75,650	1,881	46.9	29.0	796,944	18,333	815,277

FUENTE: Tabla construida a partir de datos obtenidos de
"BALANCES ENERGETICOS DE AMERICA LATINA"
OLADE, Noviembre 1981, Quito Ecuador.

Para tener una idea del aporte energético de la leña al consumo de energía nacional se harán unos cálculos basados en cifras de la CEPAL y del Banco Interamericano de Reconstrucción y Fomento (BIRF)/Banco Mundial (3).

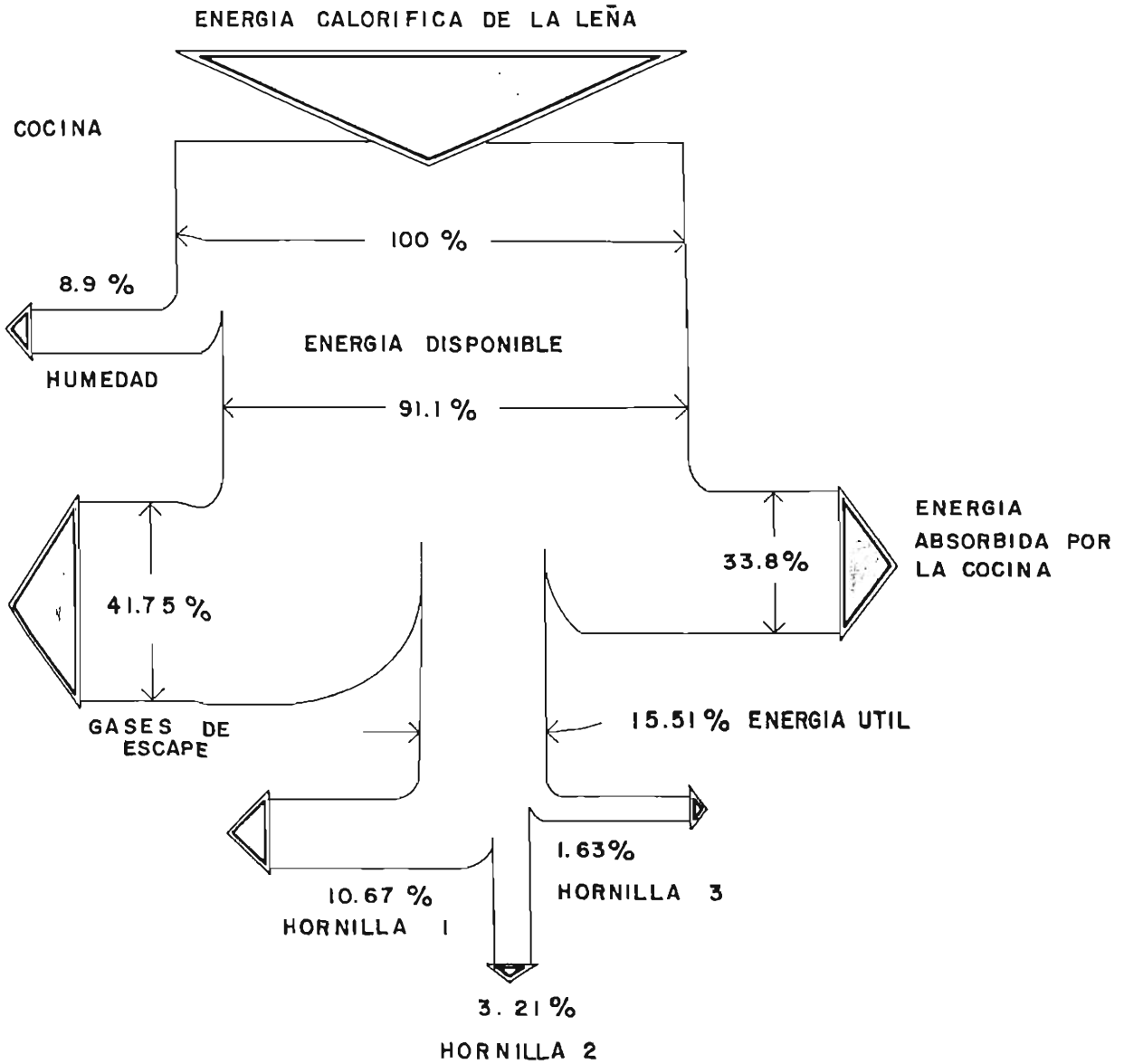
Un kilogramo de leña con un 15% de humedad contiene 3500 Kcal/kg y tiene una densidad aproximada de 320 kg/m³, dando como resultado 0.11 toneladas de petróleo equivalente por metro cúbico de leña.

De acuerdo con estas cifras, y utilizando el promedio regional de 3.0 Kg/per cápita por día (2), en 1985 se utilizaron en El Salvador 3,951,573.1 toneladas métricas de leña que representan en términos energéticos las 13,985.0 Tcal. consumidas en leña, o sea aproximadamente 11 veces el consumo equivalente de electricidad de todo el país para ese año (1,291.8 Tcal.). Esto se explica por las bajísimas eficiencias de las cocinas de leña. La figura 2 muestra el diagrama de energía de una cocina de leña mejorada del tipo "Lorena". Puede verse que incluso mejorando las condiciones de combustión, se logra mejorar la eficiencia de estas cocinas hasta un 15 % como límite superior, siendo este valor más del doble de la eficiencia de las cocinas tradicionales.

Al hacer un análisis sobre los balances energéticos del país efectuados por la CEL (ver tabla no. 4), vemos que desde 1970 a 1985 el consumo de leña ha tenido una tendencia

FIGURA 2

DIAGRAMA DE FLUJOS DE ENERGIA EN UNA
COCINA DE LEÑA EFICIENTE TIPO "LORENA "



que si bien es cierto, ha ido disminuyendo en porcentaje con relación al consumo global energético del país, sus cantidades han ido aumentando, lo cual es índice de un aumento del deterioro en la flora salvadoreña.

La utilización de las fuentes no comerciales de energía está obviamente relacionada con el sector rural, sin embargo existen zonas urbanas en las cuales el uso de leña y carbón vegetal es considerable. El consumo de leña en las zonas rurales es proveniente más que todo de la recolección de la misma, teniendo gran importancia en esto los bosques de café. Por el contrario, la leña consumida en los pueblos y ciudades proviene de la explotación comercial de los bosques madereros llevando consigo una gran tala de árboles los que a la postre no son repuestos.

En el año de 1986 se dió en El Salvador una sequía sin precedentes en los últimos 25 años. Sería un error pensar que la única causa que la provocó es el incremento en la deforestación, puesto que los efectos de ésta se hacen notar paulatinamente. Sin embargo, es indudable que es urgente tomar medidas correctivas y preventivas para minimizar los daños ecológicos ocasionados. El impacto económico, se ha dejado sentir en 1987 con el racionamiento de la energía eléctrica, el cual, ha afectado a todo el país. Con esto, los medios publicitarios están dándole la atención que merece el problema esperándose que se obtenga una respuesta positiva de todos los sectores de la nación.

T A B L A 2

SECTOR DOMESTICO RURAL. CONSUMO DE LEÑA

PERIODO	POBLACION TOTAL	POB. CONSUME LEÑA	TONELADAS LEÑA	Tcal LEÑA
1965	2942382	2206787	2537804	9136
1966	3028865	2271649	2612396	9405
1967	3117497	2338123	2688841	9680
1968	3208391	2406293	2767237	9962
1969	3301706	2476280	2847721	10252
1970	3397642	2548232	2930466	10550
1971	3496418	2622314	3015661	10856
1972	3598258	2698694	3103498	11173
1973	3703372	2777529	3194158	11499
1974	3811939	2858954	3287797	11836
1975	3924095	2943071	3384532	12184
1976	4039921	3029941	3484432	12544
1977	4159440	3119580	3587517	12915
1978	4282614	3211961	3693755	13298
1979	4408067	3306050	3801958	13687
1980	4066989	3050242	3507778	12628
1981	4121836	3091377	3555084	12798
1982	4175329	3131497	3601221	12964
1983	4285024	3213768	3695833	13305
1984	4342351	3256763	3745278	13483
1985	4388084	3291063	3784722	13625

Tomado de:

"LA POBLACION DE EL SALVADOR POR SEXO Y EDAD,
SEGUN AREA URBANA Y RURAL".
Ministerio de Planificacion.

Por su parte, como se mencionó anteriormente, la Universidad de El Salvador ha comenzado a buscar soluciones diversas que puedan implementarse en determinado momento. Tal es el caso de este Seminario.

En la tabla 2 se presenta el consumo de leña por el sector doméstico rural desde 1965 hasta 1985. Puede notarse que las cantidades de leña consumidas son alarmantes, pues para estos 21 años se han consumido en total 68 millones 827 mil 689 toneladas de leña aproximadamente, únicamente en el sector doméstico. A esto habría que agregarle lo consumido en el sector industrial. Por ejemplo, para el año de 1978, el consumo de leña por sectores en El Salvador se distribuyó de la siguiente manera:

TABLA 3

CONSUMO DE LEÑA POR SECTORES EN EL SALVADOR (1978) (4)

SECTOR	Kgs. de Leña/Año. [miles]
Uso Doméstico	3,693,754
Ladrilleras	47,128
Caleras	14,121
Salineras	20,700
Otros	73,875
TOTAL	3,849,578

Del cuadro anterior se obtiene que existe un incremento aproximado del 4 % de consumo de leña sobre el sector doméstico debido al consumo industrial. Considerando este factor, se obtienen un incremento para el período 1965 ~ 1985 de casi 3 millones de toneladas lo cual representa el consumo de leña durante el año de 1970.

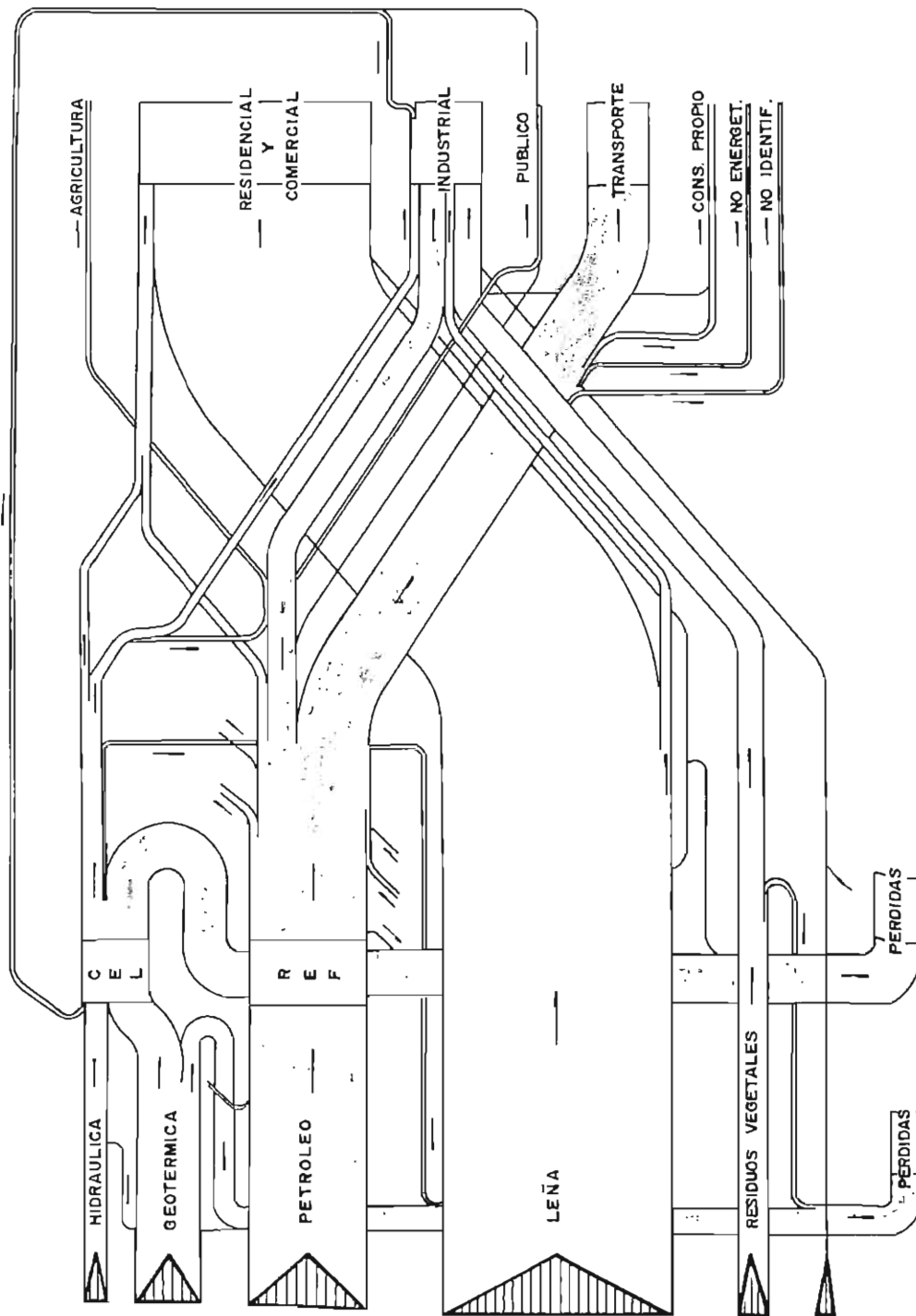
En la figura 3 se muestra un balance Energético del país en una forma proporcional a la forma del consumo de energía. En dicha figura se puede apreciar la importancia de la leña para suplir las necesidades energéticas demandadas por la población consumidora.

En la tabla 4 se tienen los datos sobre la aportación de la leña al consumo energético de los sectores residencial, comercial e industrial en el período 1970 - 1985, estando estos datos en Teracalorías.

En dicha tabla se observa que el menor porcentaje de aportación de la leña al consumo energético residencial y comercial es de 92.4 %. Para el sector industrial se tiene que 6.9 % ha sido el menor aporte de la leña y para el consumo energético nacional se tiene un 58.7 %. Sin embargo, el consumo de leña ha ido aumentando. Únicamente se observa una disminución en el año de 1980 la cual es de suponer se debió a la coyuntura socio-política de entonces, puesto que se generaron los desplazamientos de campesinos de sus

FIGURA 3

FLUJOS DE ENERGIA



T A B L A 4

APORTACION DE LA LENA AL CONSUMO RESIDENCIAL,
 COMERCIAL E INDUSTRIAL
 PERIODO 1970 - 1985. UNIDADES Tcal.

PERIODO	TOTAL CONSUMO R Y C	APORTACION Y % APORT. DE LENA A RYC	TOTAL CONSUMO INDUSTRIAL	APORTACION Y % APORT. DE LENA A IND	CONSUMO TOTAL	APORTACION Y % APORT. DE LENA A TOT
1970	11212.7	10582.7 94.4	2033.4	328.0 16.1	15737.5	10910.7 69.3
1971	11543.7	10879.7 94.2	2546.2	328.0 12.9	16852.6	11207.7 66.5
1972	11839.8	11191.8 94.5	2707.8	325.0 12.0	17618.1	11516.8 65.4
1973	12229.7	11516.7 94.2	3072.5	313.0 10.2	18640.7	11829.7 63.5
1974	12495.5	11852.5 94.9	3253.0	272.0 7.8	19120.5	12124.5 63.4
1975	12906.7	12199.7 94.5	3475.2	302.0 8.7	19908.2	12501.7 62.8
1976	13324.2	12559.2 94.3	3521.7	294.0 8.3	20826.6	12853.2 61.7
1977	13806.8	12929.8 93.6	3934.3	295.0 7.5	21906.0	13224.8 60.4
1978	14283.6	13311.6 93.2	4192.9	295.4 7.0	23184.7	13607.0 58.7
1979	14751.5	13696.5 92.8	4233.9	294.0 6.9	23675.6	13990.5 59.1
1980	13651.1	12642.1 92.6	3576.9	315.0 8.8	20800.9	12957.1 62.3
1981	13748.2	12812.4 93.2	3227.3	336.6 10.4	20464.2	13149.0 64.3
1982	13919.0	12978.5 93.2	3137.4	360.2 11.5	20565.5	13338.7 64.9
1983	14295.8	13319.1 93.2	3271.3	360.0 11.0	21330.1	13679.1 64.1
1984	14517.2	13497.1 93.0	3451.1	360.0 10.4	21820.9	13857.1 63.5
1985	14755.0	13639.2 92.4	3410.2	360.0 10.5	21752.0	13999.1 64.4

lugares de origen hacia las ciudades más pobladas.

Como se ha visto pues, el consumo de leña en El Salvador es bien alto. Así, para el año de 1979, este consumo fué de aproximadamente 3.8 millones de toneladas únicamente para el uso doméstico, lo cual representa el 95 % del consumo de leña total para ese año.

La falta de políticas de reforestación, la limitada extensión territorial del país comparada con el elevado consumo de leña, hacen imprescindible un estudio más detallado del problema del consumo de leña a fin de dar soluciones a corto, mediano y largo plazo.

Una fuente de leña aún no analizada en este trabajo son los bosques de café. Se presume que una buena parte de la leña consumida en el país proviene de las podas de los árboles de sombra de los cafetales, que anualmente se hacen en la casi totalidad de las fincas de café. Por fortuna, el café sembrado en el país es del tipo sombra contribuyendo también de esta manera al mantenimiento de toda la ecología nacional.

En el país existe un área cultivada de café de aproximadamente 200,000 manzanas. Esta cifra puede ser un poco mayor, pero sin embargo, debido a las plagas de los cafetales, a la destrucción de los bosques de café con fines de vivienda, y a las zonas abandonadas por la violencia, se considera esta cantidad. Dicha área se divide según la

altura de la tierra, siendo el café de bajo el que cubre un 60 % de este terreno, el de mediana altura con un 25 % y el de altura estrictamente de altura con un 15 % de toda esta área.

La cantidad de leña que se puede extraer de una manzana cultivada de café depende de la altura. Según datos proporcionados por el Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café (ISIC) (4), la extracción media de leña para una manzana sembrada de café bajo es de 6,820 Kgs de Leña/Mz.; para el café de mediana altura es de 4,092 Kgs de Leña/Mz. y para el café de altura es de 2,728 Kgs de Leña/Mz. Considerando las 200,000 manzanas cultivadas de café con los porcentajes del tipo de café anteriores, da que las 120,000 manzanas de café de baja altura producen 818,400 Ton. de leña; el café de mediana altura produce 204,600 Ton. y el café de altura 81,840 Ton. obteniéndose una producción global de leña de los bosques de café de Un millón 104 mil 840 Toneladas de leña. Dicha cifra para 1985 (3,951,573 Ton. de leña consumidas) representa apenas el 28 % del consumo de leña total en el país; por lo que se deduce que el 72 % restante proviene de la tala desmedida de árboles.

Queda evidenciado la importancia del aporte energético de la leña al sector residencial y comercial en particular y al país en general. Así pues, se da la necesidad de frenar la dependencia de la leña como fuente energética con el fin

de disminuir los efectos ambientales que en 1987 se han hecho notar en una forma elocuente con el racionamiento energético sufrido durante casi tres meses, algo que por causas naturales, nunca se había dado en el país.

La figura 4 muestra esquemáticamente la importancia de la leña en lo que se refiere a la estructura de consumo de las formas de energía.

**FORMAS DE ENERGIA
ESTRUCTURA DE CONSUMO**

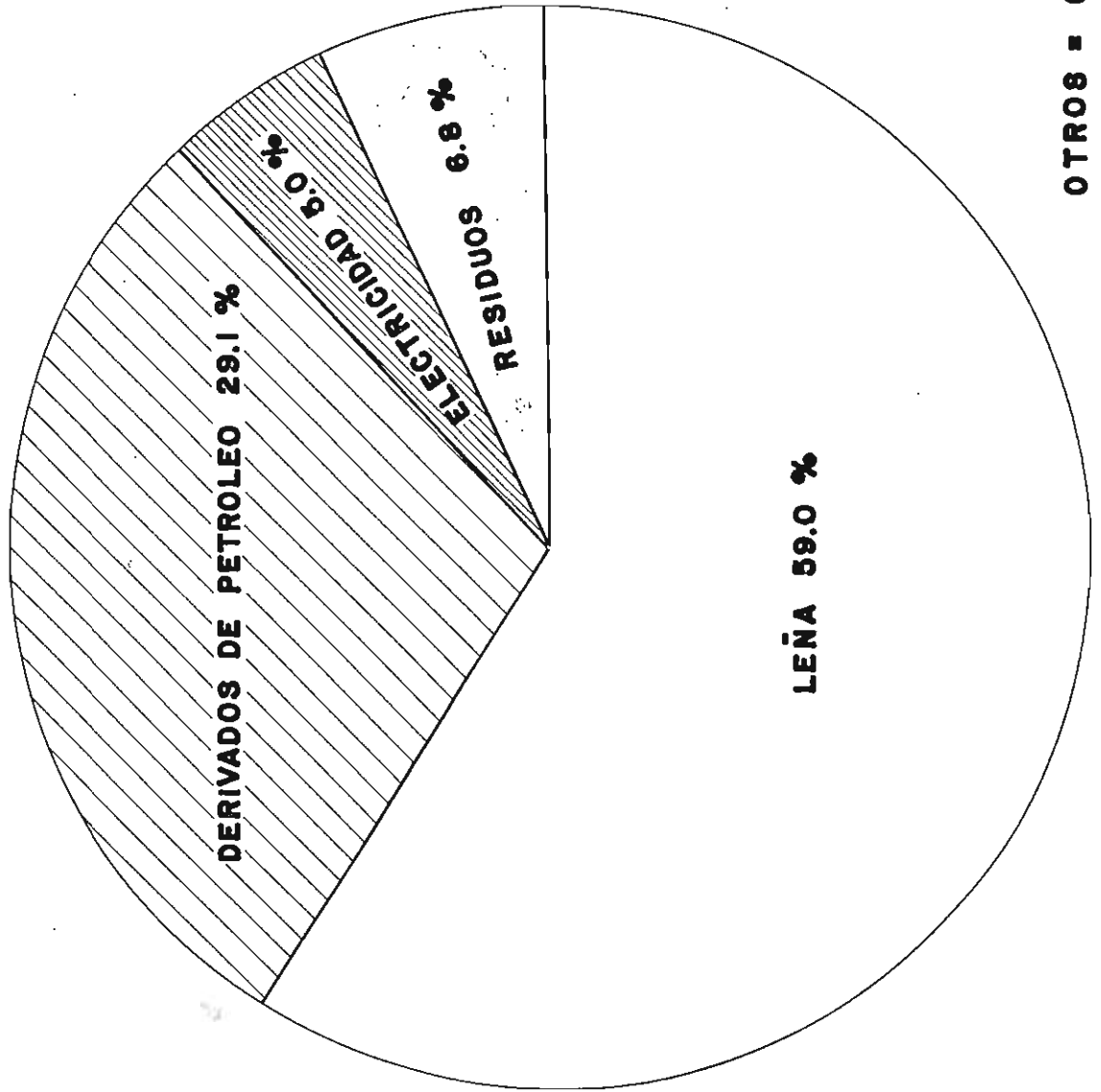


FIGURA 4

III. MEDICION DE LA EFICIENCIA DE LA COCINA ELECTRICA

La eficiencia de un aparato (lavadora, cocina, bombillo, etc.) es la medida de cuán efectivo es éste en realizar una determinada tarea (lavar, cocinar, iluminar, etc.). Es claro que la medición de la eficiencia de los distintos aparatos varía; por ejemplo, la eficiencia de un secador eléctrico es el cociente entre el calor producido y la energía consumida. Las eficiencias de los aparatos (tales como las cocinas -eléctricas o de gas-, calentadores de agua, motores de combustión interna, etc.) dependen de varios factores entre los cuales se pueden mencionar el factor de carga del aparato (a que capacidad de su potencia nominal máxima va a funcionar), el tamaño y la tasa diaria de utilización.

En el análisis de las posibles sustituciones entre fuentes de energía para realizar un determinado trabajo, como por ejemplo la cocción de los alimentos, es fundamental la determinación de las eficiencias de los distintos centros de transformación desde que la energía es "extraída", en su forma bruta (energía primaria) hasta que satisface la demanda de un servicio (energía útil).

Para demostrar la importancia de las eficiencias consideremos el caso de la posible sustitución del LPG por electricidad de origen térmico desde el punto de vista de la

eficiencia del sistema.

Una planta termoelectrica con una eficiencia del 34% consume 2500 Kcal/kwh, asumiendo un 10 % de pérdidas en las líneas de transmisión y distribución, la eficiencia total del sistema resulta ser de $0.34 \times 0.90 = 0.31$; mientras que el LPG tiene un 4 % de pérdidas en el proceso de refinación y otro 4 % en el proceso de transporte y distribución, de manera que la eficiencia total de este sistema es $0.96 \times 0.96 = 0.92$. Esto quiere decir que las cocinas eléctricas deberán tener una eficiencia al menos tres veces mayor que las de gas a fin de compensar esta desventaja, tomando en cuenta -por supuesto- que toda la energía eléctrica que consume la cocina ha sido generada por una planta termoelectrica. De aquí la importancia de determinar las eficiencias de los aparatos, los cuales son en realidad - y desde este punto de vista- verdaderos centros de transformación de energía.

En el presente trabajo se definirá a la eficiencia para cualquier aparato final de conversión de energía (bombillo, automóvil, cocina, etc.) como el cociente:

$$N_{\text{final}} = (Q_{\text{energía útil}}) / (Q_{\text{energía final}}) \times 100 \quad (1)$$

Se usará como unidad de medida la Tera caloría (Tcal) = 10^{12} calorías y en general, el sistema métrico (MKS) para todas las unidades. Vale la pena también comentar, que se

ha utilizado la eficiencia de la Primera Ley de la Termodinámica o sea del tipo:

$$N = Q_2 / Q_1 \times 100 \quad (2)$$

ya que interesa saber sólo el cociente entre la energía útil entregada por el aparato y la cantidad de energía final requerida para conseguir el efecto deseado. El comentario es importante debido que la Primera Ley no considera la totalidad de las fuentes de energía, concepto importante en la sustitución de las fuentes energéticas, pero que va más allá de los objetivos de este trabajo.

La Segunda Ley de la Termodinámica, incluye en su enunciado los elementos cualitativos de la fuente de energía en uso. La Segunda Ley está relacionada con la Primera a través de la ecuación siguiente:

$$N_2 = N_1 (1 - T_2/T_1) \times 100 \quad (3)$$

siendo: N_1 = Eficiencia de la Primera Ley de la Termodinámica.

T_1 = Temperatura a la cual el combustible libera el calor.

T_2 = Temperatura de uso del proceso.

donde esta vez se incluye un factor que depende de las temperaturas en juego (elemento cualitativo del punto de

vista energético).

Para las cocinas, la medición de la eficiencia se efectúa tomando como base la cantidad de energía útil producida. Para efecto de simplificar la determinación de la energía útil, se utiliza el agua natural como líquido de trabajo termodinámico. La energía final se determina midiendo las cantidades de energía eléctrica utilizada en cada prueba.

Para la medición de la eficiencia se seleccionan tres tipos de pruebas ('5) :

- i) Utilizando una cantidad fija de energía eléctrica. Se mide la cantidad de energía transferida al líquido de trabajo a través del volumen de agua evaporada y de la cantidad de calor almacenada en el agua.

- ii) Cantidad fija de energía y de agua. Se lleva al punto de ebullición y enseguida se vacía el recipiente. Se introduce nuevamente la misma cantidad de agua y se lleva a ebullición. Se toma nota del número de veces que se puede elevar la temperatura a ebullición y del tiempo que toma cada vez, así como de la temperatura final del agua en que no alcanza el punto de ebullición.

iii) Cantidades variables de energía eléctrica y cantidad fija de agua. Se mide el tiempo que demora la evaporación completa del agua y se mide la cantidad de energía consumida en el proceso.

BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

IV. ALTERNATIVAS DE SOLUCION

Para la solución del problema del consumo de leña, analizado anteriormente, se puede pensar en tres alternativas principales de solución: cocina eficiente de leña, cocina de gas propano y la cocina eléctrica.

Como se mencionó en la introducción de este trabajo, una cocina más eficiente de leña únicamente provocaría un desplazamiento en el tiempo de las consecuencias del problema, puesto que no se elimina el consumo de leña, solamente se reduce. Por otro lado, cocinar con leña implica daños a la salud de quienes lo hacen, ya que el humo provocado por la leña irrita a los ojos de quienes se encuentran cerca. También se observa que muchas de estas personas han sufrido quemadas y la piel de los antebrazos (por estar expuesta eventualmente a las llamas) se encuentra muy delicada.

Se pueden comparar las cocinas también desde el punto de vista de la eficiencia.

En la determinación de la eficiencia existe también la componente del tipo financiera. En este sentido, un diseño de la cocina eléctrica puede ser óptimo en cuanto a su eficiencia térmica, pero si su costo de fabricación es demasiado alto, deberá buscarse otra alternativa de diseño.

Dado que el diseño de la cocina es para tortillas, la medición de la eficiencia por los métodos mencionados anteriormente se hace un tanto engorrosa, pudiendo caer en errores al efectuar las mediciones, dado que el área útil para cocinar es toda la plancha, o sea 0.75 x 0.50 mts². Debido a eso, se analizará la eficiencia únicamente desde el punto de vista económico, y es éste en definitiva el índice del éxito de una posible aceptación de la cocina eléctrica o no. A continuación se detallan datos recolectados sobre el gasto de emplear leña para el cocimiento de tortillas.

Como referencia puede darse el costo de operación de la leña contra el costo de operación de la energía eléctrica. Para el caso, una tortillera promedio hecha 950 tortillas diarias y gasta al día 20.00 colones en leña. Además, un comal de barro le dura unos tres meses. El costo de cada comal es de 30.00 colones aproximadamente. Esto da como resultado que en leña se gasten mensualmente 600.00 colones y 10.00 en comales, dando un total de insumos de operación de 610.00 colones al mes. Estos 610.00 colones comparados con las 28,500 tortillas que se producen en el mes indican que por cada tortilla se gastan más de 2 centavos de energía (considerando también el gasto del comal de barro).

Los datos anteriores provienen de entrevistas realizadas, cuyos resultados se pueden resumir en la tabla 5:

TABLA 5
COSTO ESTIMADO DE COCINAR CON LEÑA

Gasto diario ₡	Número Tortillas	Costo Tortilla Energía ₡	Número horas	Costo Comal ₡	Duración Comal Meses
18.00	750	0.024	6	30.00	4
25.00	1100	0.023	6	45.00	3
20.00	850	0.024	6	40.00	3
22.00	950	0.023	6	45.00	3
15.00	700	0.021	6	30.00	4
28.00	1200	0.023	6	45.00	3
20.00	800	0.025	6	35.00	3
18.00	700	0.026	6	30.00	4
15.00	650	0.023	6	30.00	3

Es decir, para que halla una aceptación y para que se pueda decir que la cocina eléctrica diseñada es económicamente rentable, se tiene que el gasto por energía en cada tortilla debe de ser menor que dos centavos.

Desde otro punto de vista, si se tiene un gasto de 610 colones mensuales, con ello se pueden consumir 3,050 KWH asumiendo el precio del KWH a 0.20 colones (en la tarifa residencial de CAESS D-3A el KWH vale 0.179 después de

consumidos los primeros 195 KWH). Suponiendo que se utilizan seis horas al día para echar las tortillas (3 en la mañana y 3 en la tarde) se tienen 180 horas al mes lo cual da un consumo de 16.944 KW, es decir 16,944 watts. Si la resistencia empleada es de 650 W, se necesitarán 26 resistencias para consumir esa cantidad de potencia. O sea, que con un diseño que utilice menos que 26 resistencias se estará garantizando que económicamente resulta menor el costo de cocinar con energía eléctrica que con leña.

Por otro lado, al equiparar la cocina eléctrica con cocinas de gas propano, se encuentran para estas últimas ciertos inconvenientes los cuales se analizan a continuación.

Para comparar la cocina de gas con la cocina eléctrica, se hace necesario analizar los datos obtenidos en 343 encuestas llevadas a cabo por la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa en el área rural (*).

Los grupos familiares entrevistados estaban distribuidos de la siguiente manera: 66 en la Zona Occidental, 154 en la Central y 123 en la Oriental.

La encuesta detectó que las fuentes de energía más utilizadas en el área rural son las siguientes: leña, gas propano, kerosene, alcos, tusas y caña seca; pudiéndose comprobar nuevamente, que el consumo de leña es el más significativo. Esto puede apreciarse en la tabla 6, a

continuación mostrada. En dicha tabla aparece el porcentaje de viviendas que cocinan con cada tipo de energético.

TABLA 6

SECTOR DOMESTICO RURAL -- FUENTES DE ENERGIA (4)

Fuentes de Energía	V I V I E N D A S No.	%
Leña	326	95.0
Gas Propano	6	1.8
Gas Kerosene	1	0.3
Leña y Gas Propano	9	2.6
Leña y Gas Kerosene	1	0.3
T O T A L	343	100.0 %

En lo que se refiere a olotes, tusas y caña seca no fué posible obtener un estimado de la cantidad en que se utilizan, ya que el consumo de ellos es ocasional dependiendo de su disponibilidad en un momento dado (son productos de temporada); y por otro lado, se limitan a ser un complemento de la leña. Es por esta razón que en el cuadro anterior no aparecen indicados.

Se observa que únicamente el 2.2 % de la población

rural no utiliza leña, sustituyéndola por combustibles derivados del petróleo. El 2.8 % combina la leña con los combustibles derivados del petróleo y el 95 % depende totalmente de la leña para suplir sus necesidades energéticas básicas.

Las razones para esto pueden ser la indisponibilidad de gas (propano y kerosene) en el área rural, los costos de éstos y el capital inicial necesario, puesto que se necesita comprar una cocina adecuada para dichos combustibles.

En el mercado nacional, actualmente, el costo de una cocina de gas propano es de 2 mil 134 colones y el valor del cilindro de 25 libras de gas es de ¢ 22.90. En la tabla que aparece a continuación se muestran los resultados sobre consumo de gas por personas que utilizan este tipo de cocinas para pupusas y una persona para tortillas.

TABLA 7
COSTO ESTIMADO DE COCINAR CON GAS

Capacidad Tanco lbs.	Horas Usa- das/día	Precio Gas	Días Duración	Gasto Mensual
100	6	91.60	6.0	458.00
33	5	29.25	2.5	351.00
25	7	22.90	1.5	458.00
25	5	22.90	2.0	343.50
25	2	22.90	14.0	45.60

De los datos de la tabla anterior, únicamente la tercera persona utilizaba su cocina para echar tortillas. Al día elabora 900 tortillas aproximadamente gastando en cada tortilla un promedio de 0.017 colones. Ahora bien, con los 458 colones que se gastan en gas propano, se podrían comprar 2559 KWH mensuales equivalentes a 2559000 watts-hora. Tomando 7 horas al día durante 30 días se tienen 210 horas mensuales, lo cual da que se pueda tener una cocina con una potencia de 12184 watts, equivalente a tener una cocina de más de 18 resistencias.

Por otro lado, los inconvenientes que se tienen en el campo de tener que ir hasta una venta de gas propano, hacen que esta alternativa no tenga los resultados esperados. Así mismo, se puede destacar el hecho de que el gas propano es un producto no nacional, lo cual implica que el uso de él, provoque una fuga de divisas en el país.

V. DISEÑO

Para la elaboración del Diseño de la cocina, se tuvo que tener presente que la orientación de ésta era la población de escasos recursos económicos.

El análisis del diseño de la cocina consta de dos partes principales: el cuerpo o base y la parte eléctrica.

En el diseño presentado existen otras alternativas las cuales podrían ser consideradas, como por ejemplo, el empleo de otros materiales diferentes (plancha de aluminio, barras de cobre, resistencias de espiral, tierra blanca) a los aquí tratados (barro, arena y tierra negra, plancha de hierro, barras de hierro, resistencias de resorte); sin embargo, los autores se decidieron por la opción presentada a continuación debido a que ya se han probado en otros diseños los materiales aquí mencionados (6).

Se analizarán primero los materiales de construcción del cuerpo de la cocina y a continuación los materiales eléctricos. Por otro lado, la distribución de las resistencias eléctricas tomada en este trabajo, se hizo en base a una mayor facilidad en la construcción, puesto que se pretende que cualquier persona pueda construir su propia cocina eléctrica y darle el mantenimiento necesario.

Así mismo, se decidió hacer el diseño eléctrico

únicamente para 110 Voltios puesto que es el voltaje predominante en las zonas rurales y en los hogares de las personas de bajo nivel económico.

MATERIALES DE CONSTRUCCION

Dado que el diseño de la cocina debe ser orientado principalmente a las personas de escasos recursos económicos, los materiales que se empleen en su construcción deberán de reunir los siguientes requisitos:

- * Obtenerse a bajo o ningún costo.
- * Facilidad en su obtención.
- * Simples y fáciles de trabajar.
- * Resistentes al calor.

No existen muchos materiales que cumplan con estos requisitos, pero entre los que se han investigado, se pueden destacar como más adecuados el barro, tierra negra y la arena. Se ha visto que la mezcla de estos materiales produce resultados satisfactorios siempre que se usen las proporciones adecuadas. A continuación se habla de las características del barro, la tierra negra y la arena y luego de la mezcla de ellos.

Barro

Una estufa fabricada de barro puro, tiende a rajarse

debido a que el barro se contrae al secarse y se expande cuando es calentado. Sin embargo, cuando se usa una mezcla de barro, la tierra negra y arena, la función del barro y la tierra negra es mantener unida o ligada la arena, es decir, constituye el pegamento necesario para mantener unidos los granos de arena. Otra razón para utilizar el barro, se debe a que por su propia naturaleza, es un mal conductor del calor, o sea, es un buen aislante del calor. En una estufa hecha de barro, tierra negra y arena, las paredes internas se someten al calor, pero no permiten que éste se escape hacia el exterior. Esta ventaja no se obtendría si se usa un material de construcción con una elevada conductividad térmica como por ejemplo la tierra blanca con que generalmente se hacen las hornillas de las tortillas. En experimentos realizados se ha logrado determinar que el barro tiene una conductividad térmica que oscila entre 6.88×10^{-3} y 5.36×10^{-3} watt/cm - Gdos. C.

Dadas las razones por las que se usa barro para construir las cocinas, es necesario saber determinar cuál tipo de barro usar. Esto se logra investigando si el suelo que se ha escogido contiene suficiente barro y estableciendo la calidad del mismo. Para ello se efectúan dos pruebas sencillas (6) :

- i) Primero se toma una muestra del suelo, se humedece y luego se enrolla para darle la forma de un lápiz de unos 10 cms. de largo; con cuidado se toma la muestra

por un extremo y se sostiene en forma horizontal. Si la muestra se dobla, pero no se quiebra, el suelo contiene buena cantidad de barro.

ii) A continuación se establece la calidad del suelo a través de los pasos siguientes:

1. En un frasco limpio de vidrio, más o menos de 1 litro, se echa barro hasta menos de la mitad.
2. Se agrega una cantidad de agua igual a la que se puso de barro cuidando de que el frasco no quede lleno.
3. Se cierra el frasco y se agita vigorosamente hasta que el barro se haya mezclado bien con el agua.
4. Se deja el frasco en reposo por unos dos días.
5. Pasados los dos días, se observa el frasco sin moverlo. El barro se ha depositado en el fondo en diferentes capas (Ver figura 5).

Para establecer la clase de barro que se tiene, la prueba se analiza de la siguiente forma:

La capa del fondo es arena y se deposita allí porque sus granos son de una mayor densidad. Si la capa de arena es

MIDIENDO EL CONTENIDO DE BARRO EN EL SUELO

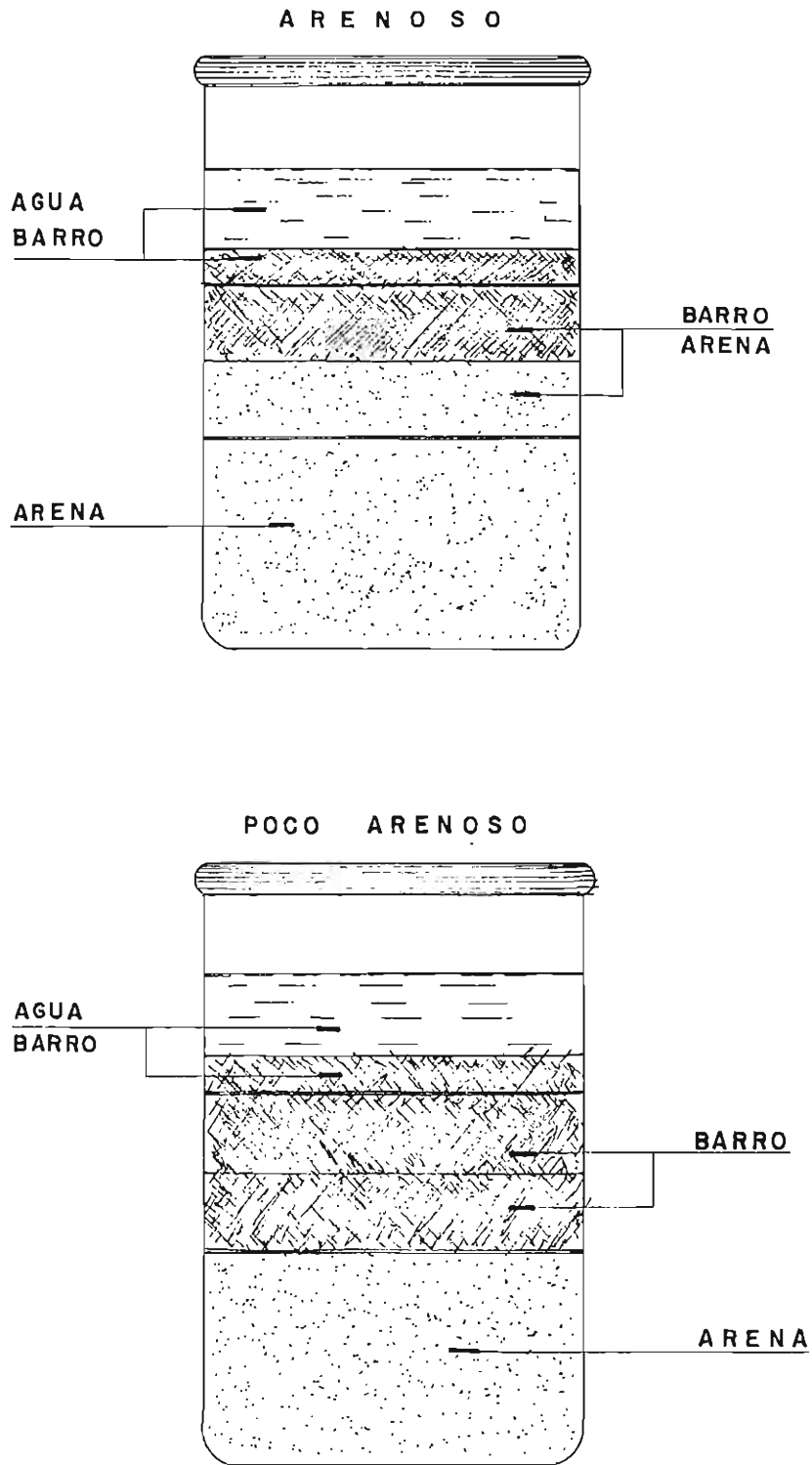


FIGURA 5

grande, es decir que si abarca más de la mitad del espacio que ocupan todas las capas juntas, se dice que el barro es arenoso. Contrariamente, si la capa de arena es pequeña, o sea que ocupa menos de la mitad del espacio total que ocupan todas las capas juntas, se tiene un barro poco arenoso. La capa del fondo como ya se mencionó, es de arena, la que le sigue es una mezcla de barro y arena; y lo restante es de barro.

Los resultados de este sencillo procedimiento, serán útiles más adelante para determinar la proporción de barro y arena que se usarán en la construcción de la cocina.

Arena

Al igual que el barro, la arena también puede encontrarse de diferentes clases como son: arena de río, arena de mar y arena blanca o de pomez. A pesar de sus diferencias, cualquiera de ellas produce resultados satisfactorios en la construcción de cocinas. En el caso de la arena de mar, se hace necesario lavarla previamente para quitarle la sal que pueda contener. Se hace necesario que la arena se encuentre libre de sal para que la mezcla tenga una mejor resistencia (es decir que el barro tenga un mayor poder de pegamento; así como también para disminuir las conductividades tanto térmica como eléctrica.

La razón para usar arena es porque se necesita que la

mezcla sea fuerte y consistente, ya que la cocina deberá soportar el peso de la plancha. Además por ser un mal conductor del calor, se complementa bien con el barro produciendo una mezcla que contribuye a evitar las fugas térmicas de la región calorífica.

Otras características de la arena que la hacen recomendable son su alta resistencia a las temperaturas elevadas, así como su resistencia a la deformación.

Otros Materiales

Otro material empleado en la construcción del cuerpo de la cocina y que desempeña un papel muy importante en la preparación de la mezcla es el agua.

El agua, al mezclarse con el barro, forma el material pegajoso que sirve para unir la arena en la mezcla. Sin embargo, se debe tener mucho cuidado con la cantidad de agua que se usa. El exceso de agua puede ocasionar serios problemas a la estufa, cuando se está secando y por otra parte, si el agua es muy poca, puede ser que las partículas en la mezcla no queden muy bien unidas, provocando un desmoronamiento de la cocina.

En cuanto a otros materiales complementarios, pueden ser muy variados, ya que dependen de la disponibilidad que haya de éstos. En lo que se refiere al cuerpo de la cocina se pueden citar: pedazos de madera, lámina, bambú, pedazos

de ladrillos, adobe, piedras, alambre, etc. Un material que ha mostrado ser de gran utilidad y que produce muy buenos resultados es la paja u otra fibra vegetal similar para combinarse con el barro y la arena. Dichas fibras vegetales, al estar revueltas con la mezcla de barro y arena, quedan de una manera desordenada en todas las direcciones lo cual permite que haya un amarre interno dentro de la mezcla, proporcionando en esta forma una mayor resistencia física del cuerpo de la cocina. Así mismo, el dulce de atado disuelto en el agua provoca un efecto de adhesión entre el barro, la tierra negra y la arena muy bueno.

MEZCLA BARRO = TIERRA NEGRA = ARENA

Aquí se establecerá la forma en que se determina la cantidad de cada uno de los componentes básicos, necesarios para lograr la mezcla adecuada que ha de emplearse en la fabricación del cuerpo de la cocina.

Como se ha mencionado anteriormente, el barro y la tierra negra constituyen el pegamento que mantiene unidos los granos de arena; esto significa que la mayor parte de la mezcla se compone de barro y tierra negra. Parte de la arena viene con el barro, pero como la calidad del mismo puede variar de arenoso a poco arenoso, no existe una cantidad definida en las medidas que se pueda aplicar en todos los casos. Para determinar en la mezcla las proporciones de

barro, tierra negra y arena, es necesario efectuar con anterioridad algunas pruebas. Antes de llevar a cabo esas pruebas, se deben tomar las siguientes precauciones a fin de asegurar buenos resultados:

- Deben obtenerse las cantidades completas de barro, tierra negra y arena que se van a usar; con esto se garantiza que el material con que se trabaja cumpla con las características y resultados determinados en las pruebas, es decir, que no se vayan a utilizar barros de distintas procedencias cuyo porcentaje de arena sea distinto.
- El barro debe estar lo más posible libre de impurezas como hojas, raíces, piedras o materias extrañas.
- La arena también debe estar limpia y libre de impurezas; si es necesario, puede lavarse con un poco de agua.
- De preferencia, el barro debe encontrarse seco y en granos pequeños. En caso de que tuviera terrones, éstos deben deshacerse. De igual forma, la arena no debe ser muy fina ni muy ordinaria. Se recomienda cernir ambos materiales por separado en una zaranda de unos 4 ó 5 mm.
- Todo lo mencionado respecto al barro también se aplica a la tierra negra.

Una vez consideradas estas precauciones, pueden hacerse las pruebas que a continuación se detallan (*):

a) PRUEBA DEL FRASCO.

Sirve para determinar la calidad del barro y se hizo referencia a ella cuando se habló de éste. Los resultados de esta prueba se tomarán como base para realizar la siguiente.

b) PRUEBA DE LAS BOLAS QUEMADAS.

Con esta prueba, lo que se pretende es determinar cuáles son las proporciones entre el barro, la tierra negra y la arena para que la mezcla sea la más resistente al calor. Consiste en hacer pequeñas bolas con mezclas que posean diferentes proporciones de barro tierra negra y arena, se ponen a secar y luego se introducen al fuego directo hasta que se pongan al rojo vivo.

Para establecer la proporción de barro, de tierra negra y de arena que se usarán en las bolas de prueba, se tomará en cuenta el resultado de la prueba del frasco y se considerará que la proporción de barro con la tierra negra es de una de barro por media de tierra negra.

Si la prueba del frasco determina que el barro a usarse es arenoso, se recomienda hacer tres bolas cada una con partes de arena correspondientes a la de barro y tierra negra de 0, 1/2 y 1. Si por el contrario el barro es poco

arenoso, las partes de arena a mezclarse serán de 3, 3 1/2 y 4. Si resulta que el barro es término medio en cuanto a su cantidad de arena, se recomienda que las partes de arena sean de 1 1/2, 2 y 2 1/2.

Para cada una de las bolas que se determine hacer, se prepararán las proporciones adecuadas de barro, tierra negra y arena, se mezclarán bien y luego se añadirá sólo el agua suficiente para hacer la bola. El diámetro de las bolas deberá ser de unos 5 cms. Al hacerlas, se tiene que marcar en ellas algo que las identifique para evitar confusiones después del cocimiento.

Las bolas se ponen a secar completamente, esto puede llevar uno ó dos días. Luego se meten en el fuego y se dejan allí hasta que se pongan al rojo vivo. A continuación se retiran del fuego y se dejan enfriar.

Para analizar los resultados, se empieza por descartar aquellas bolas que se estallan cuando se cuecen. Con un objeto cortopunzante se rayan las bolas; la mejor bola es la más dura y fuerte, es decir, que no se rompe o desmorona fácilmente cuando se raya. La mezcla de la bola que presente los mejores resultados es la que debe usarse para la construcción de la cocina. Si se presenta el caso en que ninguna bola sea resistente, debe buscarse otro barro y repetir las pruebas anteriores.

Establecidas ya las proporciones de barro, tierra negra

y arena que se deben usar, se empieza a preparar la mezcla con que se construirá la cocina. Se detalla a continuación el procedimiento a seguir.

- 1.- Debe obtenerse la cantidad total de barro, tierra negra y arena que han de utilizarse (más adelante se establecerán cantidades exactas) cuidando de que ambos materiales se encuentren secos cuando se vayan a mezclar.
- 2.- Se mide el barro, la tierra negra y la arena de acuerdo a las proporciones que se determinan en la prueba de las bolas quemadas.
- 3.- Medidos el barro, la tierra negra y la arena, se deben colocar sobre un suelo limpio y que no absorba el agua. Se revuelven bien los materiales secos por cuanto tiempo sea necesario hasta obtener una mezcla homogénea. Luego se le agrega la paja picada en pedazos de 5 a 10 cms. en una cantidad equivalente a $1/20$ aproximadamente de la mezcla total y nuevamente se combina todo bien. Agregar la paja es algo opcional pero se recomienda hacerlo debido las ventajas que trae consigo.
- 4.- La cantidad de agua que se recomienda es de aproximadamente la octava parte de la mezcla total que se necesita. El agua se va agregando poco a poco y debe irse revolviendo bien cada vez con los otros

materiales. Este paso es de tanta importancia en la preparación de la mezcla que si en este momento no se tiene cuidado, puede echar a perder todos los esfuerzos que se hagan por conseguir un buen resultado en la construcción de la cocina. Debe emplearse entonces, todo el tiempo que se estime conveniente para asegurar que todo el barro absorba el agua y que la mezcla quede homogénea.

5.- Si la mezcla que se preparó no fué suficiente para terminar la cocina, puede prepararse la cantidad de mezcla que se necesite observando estos mismos pasos.

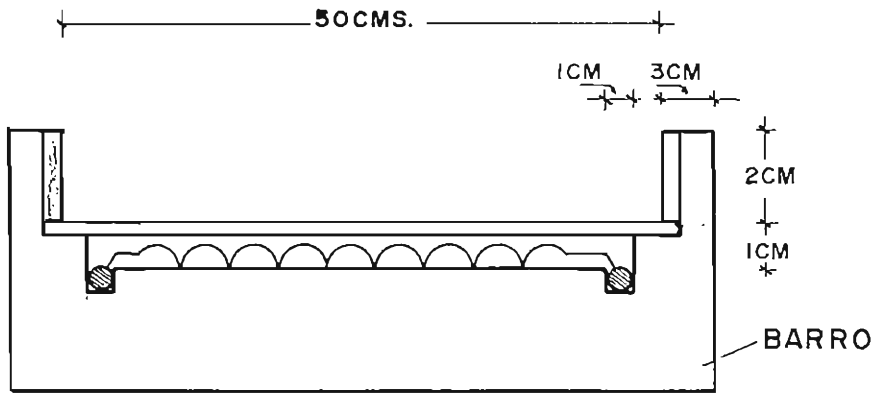
MATERIALES ELECTRICOS

En esta sección se considerarán todos los materiales que no forman parte de lo que es el cuerpo de la cocina, tales como: la plancha, las resistencias eléctricas, las protecciones eléctricas, los conductores y las barras conductoras.

El diagrama eléctrico de la cocina se muestra en la figura 7. Como puede apreciarse, las resistencias eléctricas están entre dos barras conductoras las cuales están conectadas al voltaje de la red el cual se ha considerado de 110 Voltios.

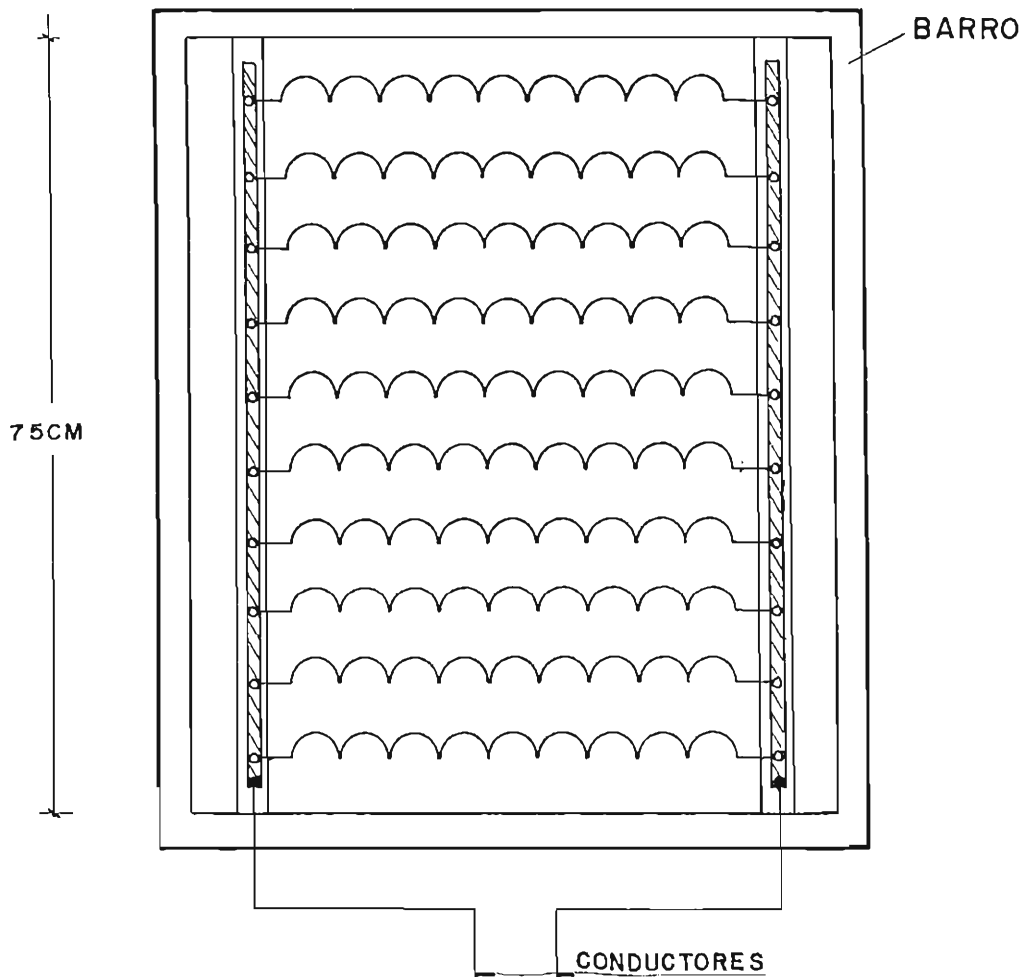
Siguiendo con la misma filosofía de los materiales para

FIGURA 6



VISTA FRONTAL

FIGURA 7



VISTA DE PLANTA

la construcción del cuerpo de la cocina (obtenerse a bajo o ningún costo, facilidad en su obtención y simples y fáciles de trabajar), se seleccionaron dos barras de hierro de 3/8" de las utilizadas en construcciones. La resistividad eléctrica para el acero fundido, que es el de lo que están hechas estas barras, es de 0.13 ohmios-mm²/mts. (7) lo cual da una resistencia despreciable para los 77 cms. de largo de cada barra.

Así mismo, las resistencias empleadas son de las de tipo resorte, dado que, comparadas con las usadas en las cocinas eléctricas de uso doméstico son de fácil adquisición (es un producto nacional), bajo costo y muy maniobrables. El valor óhmico de estas resistencias es de alrededor de unos 20 ~ 25 ohmios, por lo que disipan una potencia aproximada de unos 600 ~ 650 watts. Con las resistencias propuestas en este trabajo, se efectuaron pruebas de envejecimiento, como conectar una sola resistencia a 110 Voltios por periodos de 4 y 8 horas durante aproximadamente unas tres semanas, sin que se notara deterioro alguno en la misma por lo que se supone que la vida útil de dichas resistencias anda comparable a las resistencias de espiral que es de unos 15 meses.

La plancha seleccionada es de lámina de hierro de 1/16 de pulgada debido a que un espesor menor conservaría el calor aplicado por un tiempo más corto y resulta demasiado débil para los fines de la cocina. Se prefiere a la plancha

de hierro sobre un comal de barro mandado a hacer, ya que este último anda en su precio alrededor de un 60 % abajo que el precio de la plancha de hierro, sin embargo, su duración es de apenas unos tres meses, por lo que con nueve meses que se utilice la plancha, la inversión está garantizada (la duración de la plancha de hierro es del orden de varios años).

Como protección del circuito se utiliza un "switch block" para 60 amperios con sus respectivos fusibles. Este tipo de protección también se ajusta a la filosofía empleada para la selección de los materiales, mencionada anteriormente. Los 60 amperios mencionados se consideran tomando en cuenta el cálculo del número de resistencias que posteriormente se efectúa, y tomando en cuenta también, mediciones de corriente efectuadas con el prototipo.

VI. CONSTRUCCION

Para la construcción de la cocina eléctrica fué necesario medir en forma experimental la temperatura que alcanzan los comales en pleno funcionamiento (alrededor de los 200 grados centígrados). Este dato es de suma importancia en el cálculo del número de resistencias analizado en la parte de Transferencia de Calor.

También fué necesario determinar las dimensiones más utilizadas de las planchas metálicas o comales, es decir, el área donde se hechan las tortillas, la cual dió como resultado una plancha con las siguientes dimensiones: largo 0.75 mts. y ancho 0.50 mts. Con este dato se determinaron las dimensiones de los moldes de la base (prácticamente una caja sin fondo de 60 cms X 90 cms) donde se vertirá la mezcla de barro, tierra negra y arena que formará la base de la cocina y el molde de la tapadera la cual únicamente sirve para darle la forma a la parte superior de la base, con el fin de que tenga las medidas apropiadas para que al colocarle encima la plancha existan lo menos posible fugas térmicas. Las dimensiones de la tapadera se pueden apreciar en la vista frontal de la cocina en la figura 6.

Terminado el molde de la base se procedió a llenarla. Para la elaboración de la mezcla se utilizaron alrededor de 4 baldadas de barro, 2 baldadas de tierra negra y tres

baldadas de arena fina (puesto que por las pruebas efectuadas se determinó que el barro utilizado era arenoso). Como complemento a estos materiales, también se hizo uso de uno y medio dulce de atado disuelto en el agua, y un poco de paja picada. Tomo aproximadamente tres días preparar todos los materiales.

Antes de vertir la mezcla en el molde de la base, se untó a ésta y a la tapadera de una capa de manteca y además, otra de ceniza. Esto evita que una vez secada la mezcla se queden pegados a ésta tanto el molde de la base como la tapadera.

Una vez vertida la mezcla sobre el molde de la base, se coloca simétricamente la tapadera de la misma. Debe de ejercerse bastante presión sobre ella para que quede bien formada la parte superior de la base ya que es allí donde irá la plancha. Esta tapadera debe de permanecer unas 8 horas sobre la mezcla. Luego deberá de quitarse.

El secado de la base debe de hacerse por completo en la sombra con el fin de que su secado sea lento para impedir que la mezcla se agriete. Este secado dura aproximadamente una semana.

Debido a que con el secado existe un encogimiento en el barro, es conveniente tomar hasta entonces las medidas para cortar la lámina de hierro y hacer la plancha.

Para la elaboración del circuito eléctrico, se deben tener las resistencias estiradas de una manera uniforme lo cual se logra estirándolas por los extremos.

Las resistencias y los conductores de alimentación están unidos a las barras de potencial (barras de hierro de 3/8") mediante empalmes hechos con alambre de amarre, o en su defecto, alambre de cobre. Se debe de tener mucho cuidado al unir estos materiales con las barras de cobre, puesto que un mal contacto hace que las resistencias se corten en el punto de contacto y con los cables alimentadores, evita que de éstos salgan chispas las cuales podrían alarmar a los usuarios.

Como se verá más adelante, la corriente demandada por la cocina es de unos 48 amperios, por lo que se debe de utilizar como mínimo, un cable calibre 6 AWG y una protección para 60 amperios.

También son necesarias observar las siguientes recomendaciones, tales como hacer la base en el lugar y sobre el soporte que la va a tener con el fin de evitar que se quiebre con cualquier traslado. En caso de quebrarse, se puede pegar con una mezcla de barro y agua, o bien, con yeso en polvo y agua. También es conveniente no exponer innecesariamente al agua a la base, es decir, mantenerla tapada con un plástico durante las horas en que no se utilice. Finalmente, la plancha debe de tener una pestaña en

todas sus orillas con el fin de que cualquier líquido derramado sobre ella no vaya a ocasionar problemas con el circuito eléctrico, así como se debe de evitar que la plancha no haga contacto ni con las resistencias ni con las barras conductoras.

En lo que respecta a los costos de fabricación de la cocina propuesta, la plancha eléctrica se cotizó a cien colones, la protección de switch block tiene un valor de unos sesenta colones incluyendo los fusibles de 60 amperios. Cada resistencia tiene un valor de un colón con cincuenta centavos haciendo un total de quince colones por las 10 resistencias. El costo del cable THW 6 es de alrededor de unos siete colones con cincuenta centavos, y necesitándose dos conductores en total, da un costo de quince colones el metro. Esta cantidad tendría que multiplicarse por el número de metros desde la acometida al lugar de ubicación de la cocina. En total, por materiales se podrían gastar unos doscientos colones como máximo. Suponiendo que no se tenga mucha disposición para trabajar los materiales (barro, tierra y arena), la mano de obra para la fabricación de la cocina anda por cincuenta colones, dando como inversión inicial necesaria la cantidad de doscientos cincuenta colones.

VII. NOCIONES SOBRE TRANSFERENCIA DE CALOR

Dado que el plan de estudios de la carrera de Ingeniería Eléctrica no incluye una asignatura sobre Transferencia de Calor, se ha estimado conveniente incluir unas pequeñas nociones sobre dicho tema ya que en él se basan los cálculos sobre el número de resistencias utilizadas en el prototipo.

Definición de Calor

El calor se define como la energía en tránsito entre dos cuerpos a causa de una diferencia en la temperatura de dichos cuerpos (*). Al poner en contacto cuerpos a diferentes temperaturas, por experiencia se sabe que sus temperaturas tienden a igualarse. Lo anterior es debido a que las moléculas de un cuerpo están en movimiento y poseen energía cinética la cual es proporcional a la temperatura del cuerpo. Así, cuando dos cuerpos se ponen en contacto, la energía cinética de las moléculas del cuerpo más caliente tiende a decrecer y la energía cinética de las moléculas del cuerpo más frío tiende a incrementarse hasta que ambos cuerpos estén a la misma temperatura. Esto se debe a los choques de las moléculas que se dan en la superficie de contacto de los dos cuerpos. Se da pues una transmisión de energía del cuerpo más caliente al más frío, y la energía

transmitida de esta forma recibe el nombre de "calor". Se debe de puntualizar que el término calor se aplica solamente a la energía en tránsito, es decir, a la energía que se transmite, y no es correcto emplearlo para describir la energía acumulada.

La transmisión del calor tiende a presentarse dondequiera que exista una diferencia de temperatura, y hay tres maneras en las cuales la energía puede transmitirse: por conducción, por convección y por radiación.

Conducción

El fenómeno de transferencia de calor por conducción es un proceso de propagación de energía en un medio sólido, líquido o gaseoso, mediante comunicación molecular directa o entre cuerpos a distintas temperaturas. En el caso de líquidos y gases esta transferencia es importante, siempre y cuando se tomen las precauciones necesarias para eliminar las corrientes naturales de flujo que pueden presentarse como consecuencia de las diferencias en densidad que experimentan éstos. A eso se debe que la transferencia de calor por conducción es de particular importancia en sólidos sujetos a una diferencia de temperaturas.

En una barra de metal cuando ésta es calentada en un extremo, las moléculas de movimiento rápido en el extremo

más caliente de la barra transmiten directamente la energía a las moléculas de movimiento más lento con las cuales están en contacto, y éstas a su vez, transmiten la energía a las moléculas adyacentes. Esto se repite capa tras capa de moléculas hasta alcanzar el otro extremo de la barra, de manera que hay una transmisión continua de energía a lo largo de la barra. Cada capa de moléculas está a una temperatura ligeramente menor que la anterior, por lo que se dice que existe un gradiente de temperatura a lo largo de la barra.

Experimentalmente se ha encontrado (9) que la cantidad de calor Q transmitida en un tiempo t a través de una placa plana de un material de espesor x y área A , cuyas caras se conservan a temperaturas uniformes T_1 y T_2 , es directamente proporcional al área A ; directamente proporcional a la diferencia de temperatura $(T_1 - T_2)$; directamente proporcional al tiempo; e inversamente proporcional al espesor x . Por lo tanto,

$$Q = [kA(T_1 - T_2)t] / x \quad (4)$$

donde k es una constante conocida como conductividad térmica del material.

Expuesto en términos de la medida de transmisión de calor q' (donde $q' = Q/t$) (10), tenemos que:

$$q' = kA(T_1 - T_2) / x \quad (5)$$

Otra alternativa de la ecuación anterior, se obtiene considerando lo siguiente:

Al existir un gradiente de temperatura dentro del medio, la segunda ley de la termodinámica establece que la transferencia de calor se lleva a cabo desde la región de mayor temperatura hacia la de menor temperatura. En estas circunstancias, se dice que el flujo de calor es proporcional al gradiente de temperatura; es decir:

$$q' = -k (dT/dx) \quad (6)$$

donde q' denota el flujo de calor por unidad de área o densidad de calor en la dirección x . El signo negativo es introducido de tal manera que la segunda ley de la Termodinámica sea satisfecha ya que el calor debe fluir de mayor a menor temperatura. En otras palabras, el calor siempre es transmitido en la dirección de la temperatura decreciente, de manera que si x se mide en la dirección en la cual tiene lugar la transmisión de calor, dT/dx siempre será negativo. Esta ecuación se conoce como la ley de Fourier de conducción del calor (descubierta por el científico Francés J.B. J. Fourier en 1822). Si la transferencia de calor se lleva a cabo en más de una dirección, en la ley de Fourier se hace necesario reemplazar dT/dx por el gradiente de T .

La ley de Fourier define a la conductividad térmica k y aunque se ha observado que ésta varía con la Temperatura, en

muchas aplicaciones puede considerarse constante. Las unidades de ésta son W/mK. Cuando los materiales tienen una alta conductividad térmica se denominan conductores del calor, mientras que su conductividad térmica es baja reciben el nombre de aislantes.

Existe una correlación entre la conductividad térmica y la conductividad eléctrica de los metales puros. Sin embargo, a temperaturas muy bajas, los metales se hacen muy buenos conductores de la corriente eléctrica, pero no así del calor.

Mediante la ley de Fourier se puede determinar la transferencia de calor por conducción en un sistema, siempre y cuando la conductividad térmica y el gradiente de temperatura sean conocidos. En otras circunstancias, cuando el flujo de calor es constante, éste puede determinarse mediante una integración directa de la ley de Fourier.

Los valores de k varían considerablemente. Los metales tienen conductividades térmicas altas, siendo los mejores la plata con 419 W/mK, el cobre con 388 W/mK y el aluminio (203 W/mK) (11). Los no metales tienen, en general valores de k relativamente bajos (el corcho tiene 0.04 W/mK) y con frecuencia se emplean como aislantes del calor. Se debe de puntualizar aquí que la palabra "aislante" se emplea como "un conductor relativamente pobre" puesto que todos los materiales conducen calor, hasta cierto grado.

Convección

La mayor parte de los fluidos (líquidos, vapores y gases) son malos conductores del calor, y la transmisión del calor en ellos, generalmente no depende de la conducción a través del fluido, sino del movimiento de éste. Así, se puede afirmar que el fenómeno de transferencia de calor por convección es un proceso de transporte de energía que se lleva a cabo como consecuencia directa del movimiento de un fluido y está íntimamente relacionado con el movimiento del mismo.

Un fluido al pasar por un objeto que tenga una temperatura mayor que la propia se calienta por contacto directo, habiendo así una continua transmisión de energía del objeto al fluido - proceso al que se le ha llamado convección. La corriente del fluido puede estar producida por ejemplo, por una bomba o un ventilador (convección forzada), o puede deberse a diferencias en densidad provocadas por diferencias en la temperatura (convección natural).

La convección natural es un proceso con el cual, sin que alguien lo note, se está familiarizado. Si se coloca un objeto caliente en el aire tranquilo, la capa de aire que rodea al objeto se calienta por conducción. La expansión producida por un aumento de temperatura lo hace menos denso (y por lo tanto más ligero) que el aire que lo rodea, por lo

que se eleva y es reemplazado por aire frío. Una corriente de aire calentado se eleva continuamente sobre el objeto, esto se conoce como "corriente de convección". Estas corrientes de convección pueden ser observadas elevándose de radiadores de agua caliente y otros calentadores domésticos. Otro ejemplo de convección natural es la brisa que con frecuencia sopla el mar en días cálidos. El mar mantiene una temperatura bastante estable, pero la tierra es calentada por el sol, y el aire caliente que procede de ella es reemplazado por el aire más frío que procede el mar.

Si la convección natural puede evitarse (o por lo menos reducirse en gran parte), la baja conductividad térmica del aire y de otros fluidos los convierte en útiles "aislantes del calor". En los materiales aislantes como la lana, la fibra de vidrio y los plásticos espumosos, la función del material es separar el aire que contiene en pequeñas cavidades para que no se produzca una convección normal; este aire es, en definitiva, el aislante.

Si se considera una placa cuya superficie se mantiene a una temperatura T_1 , la cual disipa el calor hacia un fluido cuya temperatura es T_2 , la experiencia indica que el sistema disipa más calor cuando se la hace pasar aire proveniente de un ventilador, que cuando se encuentra expuesto al aire del ambiente simplemente, deduciéndose así que la velocidad del fluido tiene un efecto importante sobre la transferencia de calor a lo largo de la superficie. De manera similar, la

experiencia muestra que el flujo de calor es diferente si la placa se enfría en agua o aceite en vez de aire. De aquí que las propiedades del fluido deben tener también un efecto importante sobre la transferencia de calor.

Suponiendo que la velocidad relativa del fluido con respecto a la placa es en general idénticamente igual a cero en el punto de interfase sólido - líquido (suposición válida excepto para gases muy diluidos, en que la trayectoria media libre de las moléculas es comparable con las dimensiones del sistema - flujo deslizante -, o mucho mayor - flujo Knudsen -); el calor se transfiere por conducción solamente en este plano del fluido. Sin embargo, aun cuando el calor disipado por la placa puede computarse mediante la ley de Fourier de conducción de calor, el gradiente de temperatura en el fluido depende de las características (muchas veces complejas) del flujo de éste. Por consiguiente, es más conveniente calcular el flujo de calor disipado por el sistema en términos de la diferencia total de temperaturas entre la superficie de éste y el fluido. Es decir,

$$q' = h A (T_s - T_f) \quad (7)$$

donde h es el coeficiente de transferencia de calor o coeficiente de película. Sus unidades en el Sistema Internacional de Unidades son W/m^2K . La ecuación anterior se conoce como la ley de Newton de enfriamiento (relación propuesta por el científico británico Isaac Newton en 1701).

Debe notarse que esta expresión, más que una ley fenomenológica, define el coeficiente de transferencia de calor h .

El coeficiente de transferencia de calor en algunas geometrías simples puede calcularse por la combinación de la ley de Fourier de la conducción del calor y la ley de Newton del enfriamiento, obteniéndose (10):

$$h = \frac{-k \left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=0}}{T_s - T_f} \quad (8)$$

siendo x la distancia medida perpendicularmente desde la superficie de contacto (ver figura 8).

La ecuación anterior supone un conocimiento previo del perfil de temperatura en el fluido, el cual puede obtenerse analíticamente mediante la aplicación de las ecuaciones de cambio (continuidad, movimiento y energía). Cuando las geometrías se vuelven complejas, el coeficiente de transferencia de calor puede evaluarse mediante el uso de correlaciones empíricas o recurriendo a la experimentación.

Se deduce pues, que aunque la expresión para la ley del enfriamiento de Newton se ve relativamente sencilla, el proceso de transferencia de calor por convección es muy complejo, haciendo que el coeficiente h dependa de muchos

TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCION

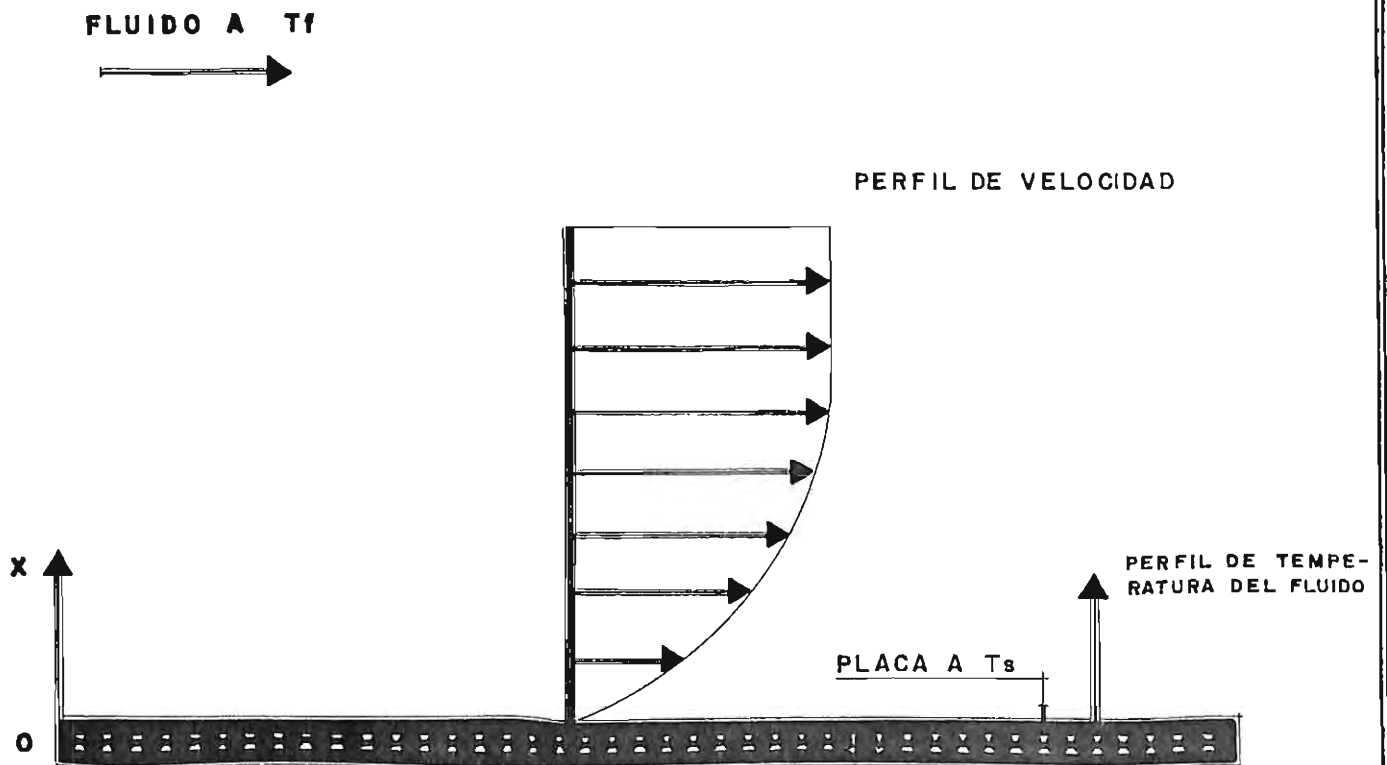


FIGURA 8

factores, entre ellos, la geometría del sistema, las propiedades físicas del fluido y las características del flujo del fluido. A continuación se muestran algunos valores del orden de magnitud del coeficiente de transferencia de calor h (*).

TABLA 8
VALORES DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR h

SITUACION	h , [W/m ² K]
Convección libre, aire	5 ~ 25
Convección forzada, aire	10 ~ 500
Convección forzada, agua	100 ~ 15000
Agua en ebullición	2500 ~ 25000
Condensación de vapor de agua	5000 ~ 100000

Radiación

Tanto los mecanismos de Transferencia de calor por conducción como por convección requieren un medio para la propagación de la energía, es decir, dependen del contacto directo, ya sea entre dos cuerpos sólidos o entre un cuerpo y un líquido. Sin embargo, el calor puede también propagarse en el vacío absoluto mediante la radiación. Puede decirse que a una temperatura dada, todos los cuerpos emiten

radiación en forma de energía electromagnética en diferentes longitudes de onda, siendo la radiación dependiente de la temperatura absoluta del cuerpo y de sus características superficiales. Se debe de resaltar el hecho de que únicamente aquella fracción que se encuentra en el rango de longitudes de onda de 0.1 a 100 micrones, aproximadamente, se considera como radiación térmica. Dentro de este intervalo del espectro electromagnético se localiza el rango ultravioleta, el visible y el infrarrojo.

Todos los cuerpos emiten radiaciones, y la medida de la energía emitida depende de la temperatura del cuerpo, el área de su superficie, y la naturaleza de su superficie. La temperatura del cuerpo también determina la amplitud de las longitudes de onda de la radiación, de manera que a temperaturas altas, esta amplitud se extiende dentro de la región a la que el ojo es sensible y el cuerpo emite luz visible.

Se ha encontrado que existe relación entre la capacidad de una superficie de emitir radiaciones y su capacidad de absorberlas. Así, una superficie pulida de metal refleja la mayor parte de las radiaciones que caen sobre ella y absorben muy poco, de manera que también es un mal radiador. Por otra parte, una superficie que se ve negra, se ve así porque absorbe la mayor parte de la luz que cae sobre ella, y también absorbería la mayor parte de las radiaciones. Un cuerpo que absorbe todas las radiaciones que caen sobre él

se conoce como cuerpo negro, y por su misma propiedad, se dice que este cuerpo sería el radiador ideal.

Experimentalmente se ha encontrado que para un cuerpo negro, la rapidez a la que se radia la energía, es proporcional al área del cuerpo A y a la cuarta potencia de su temperatura absoluta T :

$$E' = [\sigma] AT^4 \quad (9)$$

Esto se conoce como ley de Stefan - Boltzmann. $[\sigma]$ es una constante que adquiere un valor igual a 5.6697×10^{-8} en el Sistema Internacional de Unidades y se conoce como constante de Stefan - Boltzmann (Después de que los dos científicos austriacos, J. Stefan encontró la ecuación experimentalmente en 1879 y L. Boltzmann la determinó teóricamente en 1884). De esta expresión se deduce que la superficie de todo cuerpo negro emite radiación, si es que se encuentra a una temperatura diferente del cero absoluto, independientemente de las condiciones de los alrededores.

Por otra parte, un cuerpo real no satisface las características de un cuerpo negro, dado que emite una menor cantidad de radiación que éste. Si un cuerpo emite a una temperatura dada, una fracción constante de la emisión correspondiente a un cuerpo negro, a cada longitud de onda, se les conoce como cuerpo gris (¹⁰). Es decir:

$$E' = e[\sigma]T^4 \quad (10)$$

donde "e" es la emitancia de la superficie gris y es numéricamente igual al cociente de la emisión de radiación de un cuerpo gris, con respecto a la de uno negro. En la práctica, el factor "e" varía desde casi la unidad para lámparas negras hasta más o menos 0.02 para la plata pulida.

Este factor "e" es la rapidez a la cual la energía que emitiría un cuerpo completamente aislado de todos los demás (una cercana aproximación de lo que sería un cuerpo en el espacio exterior) o rodeado por una envoltura negra a una temperatura de cero absoluto. Normalmente el cuerpo estará rodeado por otros cuerpos y la transmisión de calor por radiación se calcula sobre el principio de que todos los cuerpos radian energía de acuerdo a la ecuación anterior, y la transmisión neta de calor para cualquier cuerpo en especial es la diferencia entre la energía radiada y la energía absorbida. Si por ejemplo, un horno con su contenido ha alcanzado una temperatura uniforme, todo estará radiando energía, pero la transmisión neta del calor será cero. Así un cuerpo negro de área A a una temperatura absoluta T_1 , está completamente rodeado por una superficie negra a una temperatura absoluta T_2 , entonces en tiempo unitario radiará una energía igual a $[\sigma]A(T_1)^4$ y absorberá una energía $[\sigma]A(T_2)^4$, de manera que la rapidez de la transmisión del calor será:

$$q = [\sigma]A[(T_1)^4 - (T_2)^4] \quad (11)$$

Por otra parte, la radiación emitida por un cuerpo gris a una temperatura absoluta T_1 hacia la misma superficie envolvente a una temperatura T_2 , puede calcularse mediante la expresión:

$$q = [\sigma] e_1 A ((T_1)^4 - (T_2)^4) \quad (12)$$

Esta ecuación se conoce como la ley de Prevost.

Si se consideran ahora dos cuerpos grises a temperaturas absolutas T_1 y T_2 respectivamente sin que ninguno envuelva al otro, el flujo neto de energía radiante entre ellos puede calcularse a través de la expresión:

$$q = [\sigma] F A ((T_1)^4 - (T_2)^4) \quad (13)$$

donde F es una función que no sólo depende de las características superficiales de ambos cuerpos, sino también del arreglo geométrico que guardan entre sí. Es decir, la función F depende de las emitancias de ambos cuerpos y de la fracción de energía radiante emitida por el cuerpo 1 y que es interceptada por el cuerpo 2.

Cálculo del Número de Resistencias

Para el cálculo del número de resistencias se utilizó la Ley de la conservación de la energía, es decir, que el calor total es igual a la suma del calor transferido por convección más el de radiación más el de conducción.

Los valores utilizados para la temperatura ambiente fueron de 27 grados Centígrados (300 grados Kelvin) y 200 grados Centígrados para la superficie de la plancha (473 grados Kelvin), ya que ésta última temperatura se obtuvo de lecturas directas efectuadas en mediciones de campo.

$$Q_{total} = Q_{conveccion} + Q_{conduccion} + Q_{radiacion} \quad (14)$$

Para el calor por convección, se utilizó un valor para el coeficiente de transferencia de calor de 75 (ver tabla 8), el cual equivale a un valor bajo para el aire forzado, puesto que la convección libre es muy difícil obtenerla (generalmente se obtiene únicamente en laboratorio). Así pues, se tiene:

$$Q_{conv} = h A (T_{superf.} - T_{fluido}) \quad (7)$$

$$Q_{conv} = 75 * 0.5 * 0.75 (200 - 27)$$

$$Q_{conv} = 4865.6 \text{ watts.} \quad (15)$$

donde A: Área de la plancha

h: coeficiente de transferencia de calor.

El valor del calor transferido por conducción se obtiene utilizando una conductividad térmica de $k = 5.36E-3$ puesto que este es un valor típico para la mezcla barro-arena-tierra negra (que es la proporción utilizada en la fabricación de la base) y 8cm. como espesor medio de

la base x .

$$Q_{\text{cond}} = k A (T_1 - T_2) / x \quad (5)$$

$$Q_{\text{cond}} = 5.36E-3 * 0.5 * 0.75 (200 - 27) / 0.08$$

$$Q_{\text{cond}} = 434.7 \text{ watts.} \quad (16)$$

El cálculo de la radiación es:

$$Q_{\text{rad}} = [\text{sigma}] A [(T_2)^4 - (T_1)^4] \quad (11)$$

$$Q_{\text{rad}} = 5.6697E-8 * 0.5 * 0.75 * [473^4 - 300^4]$$

$$Q_{\text{rad}} = 892.0 \text{ watts.} \quad (17)$$

donde: $[\text{sigma}] = \text{constante de Stefan - Boltzmann} = 5.6697E-8$

Por consiguiente, sustituyendo (15), (16) y (17) en (14), el calor total necesario para mantener la plancha a una temperatura de 200 grados Centígrados es:

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{conveccion}} + Q_{\text{conduccion}} + Q_{\text{radiacion}} \quad (14)$$

$$Q_{\text{total}} = 4865.6 + 892.0 + 434.7$$

$$Q_{\text{total}} = 6192.3 \text{ watts.} \quad (18)$$

El número de resistencias se obtiene dividiendo la cantidad de calor necesaria calculada anteriormente por la potencia media disipada por cada resistencia, la cual es de 650 watts.

No. de Resistencias = $Q_{total} / \text{Potencia de resistencias}$ (19)

No. de Resistencias = $6192.3 / 650 = 9.53$

No. de Resistencias = 9.53 (20)

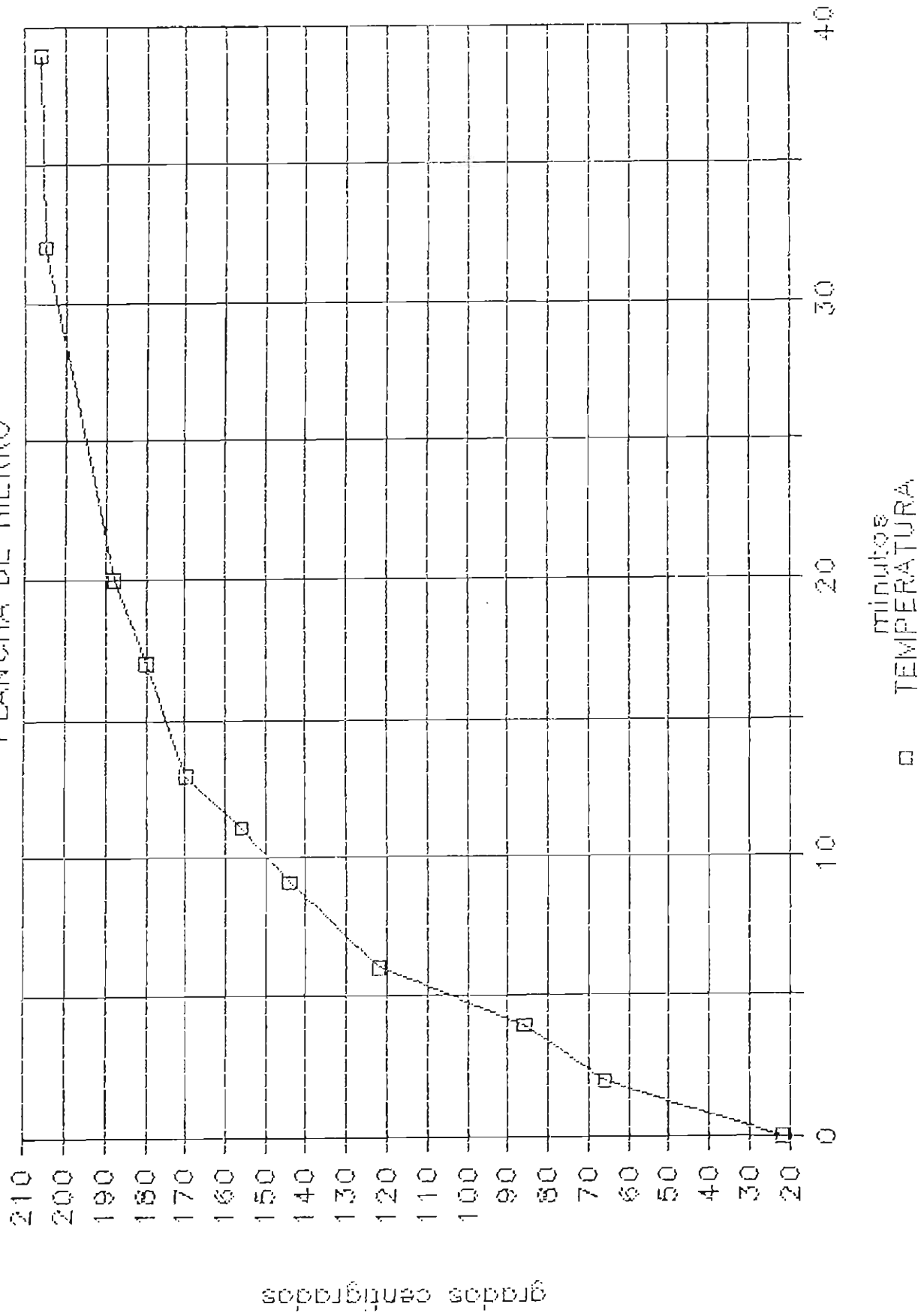
Considerando los factores externos, el resultado de (20) se aproxima a 10 resistencias.

Con 10 resistencias se están consumiendo entre 6000 y 6500 watts, sin embargo, en mediciones efectuadas, la potencia consumida es de alrededor 5000 watts con 48 amperios.

En las gráficas mostradas a continuación, aparecen las curvas de temperatura contra tiempo considerando las diez resistencias y tomando la superficie de la plancha de hierro y del comal. Se observa la eficiencia de la plancha de hierro contra la del comal.

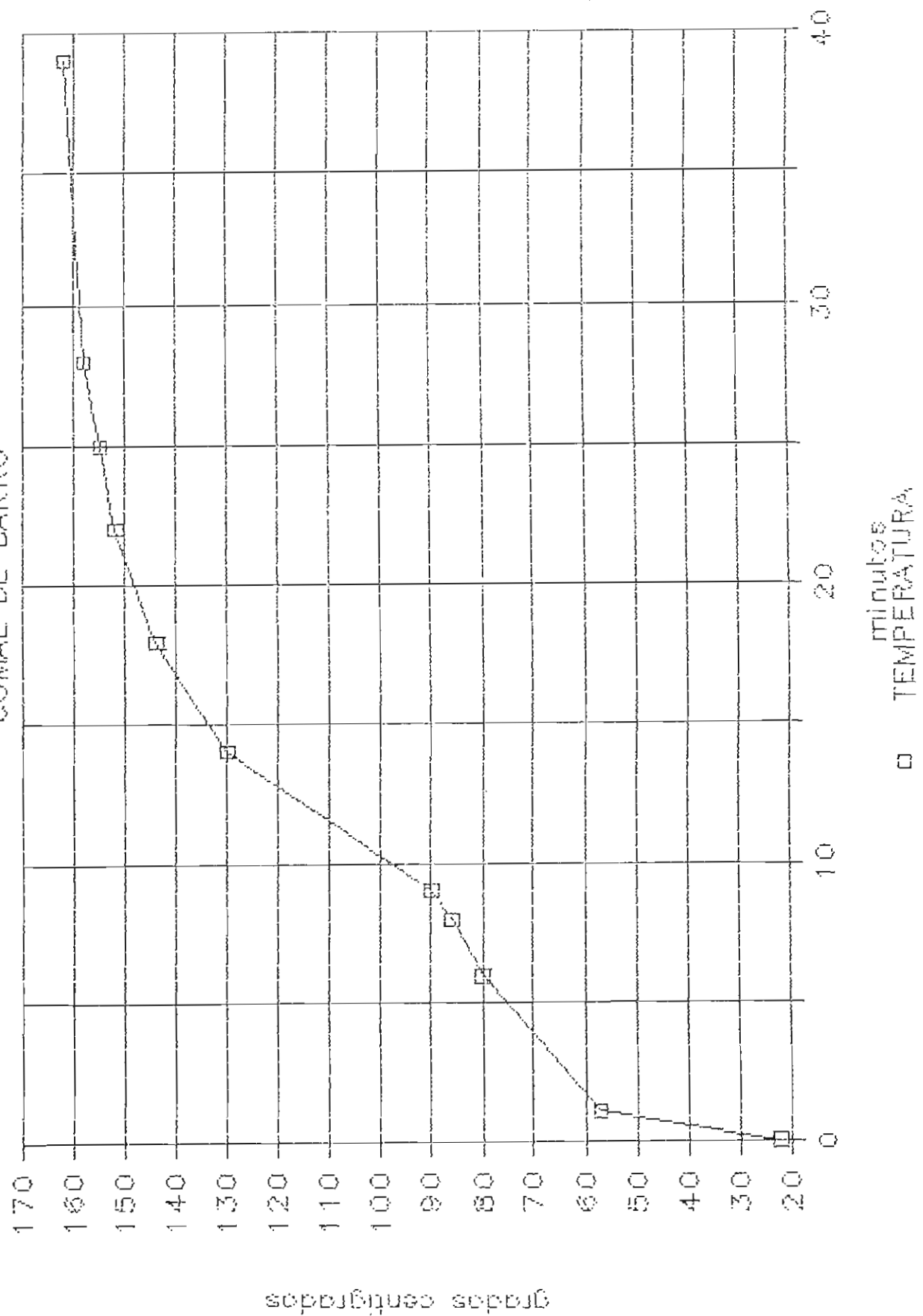
GRAFICA DE TEMPERATURA

PLANCHA DE HIERRO



GRAFICA DE TEMPERATURA

COMAL DE BARRO



VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES.

- 1.- El consumo de madera está relacionado con la riqueza de los países. Tal es así que los países subdesarrollados consumen aproximadamente 7.8 veces más madera que los países desarrollados. Importante es señalar que el 90 % de esta madera, está destinada para consumirse como leña.
- 2.- En El Salvador, la leña representa la mayor fuente de energía aportando 60 % aproximadamente de la energía consumida en el país.
- 3.- De la leña total consumida en El Salvador, más del 95 % es consumida por los sectores Residencial y Comercial, siendo su principal uso, la cocción de los alimentos.
- 4.- Los bosques de café proporcionan en El Salvador, aproximadamente 1.1 millones de toneladas de leña anualmente. Sin embargo, esta cantidad es constante y el consumo de leña es creciente por lo que con el tiempo, esta cifra puede llegar a ser menos que el 20 % del consumo total de leña en El Salvador.
- 5.- Si bien la leña es un recurso natural renovable, la

falta de reforestación, el continuo crecimiento de la población, la ausencia de leyes contra la tala indiscriminada de árboles y la escasa extensión territorial del país, hacen que se necesiten urgentes medidas para combatir este problema.

- 6.- Aunque existen estudios sobre cocinas de leña, las cuales pueden aumentar su eficiencia hasta en un 200 % de las cocinas de leña corrientes, este tipo de soluciones únicamente defasa el problema puesto que la leña seguirá consumiéndose.
- 7.- El modelo de cocina aquí presentado, es de bajo costo y de una fabricación sencilla. Dado que sus materiales son de muy fácil adquisición, se encuentra accesible para cualquier persona de recursos económicos limitados.
- 8.- Puesto que la energía eléctrica es muy barata, la cocina propuesta puede llegar a permitir ahorros mensuales de más del 60 % para las personas que en la elaboración de las tortillas utilizan leña, y aproximadamente el 50 % para quienes utilizan el gas propano.
- 9.- En lo que respecta a la inversión inicial, si bien es cierto que el diseño aquí propuesto ocasiona unas cinco veces más gastos que las cocinas tradicionales con comales de barro, la inversión se recupera al comparar

la vida útil de los comales de barro con la plancha de hierro (sin tomar en cuenta el ahorro en el gasto de leña versus el gasto de energía eléctrica). Si se compara con las cocinas de gas, la inversión inicial puede andar en la quinta parte de la necesaria para poder obtener una cocina de gas.

RECOMENDACIONES.

- 1.- Efectuar campañas de ahorro de energía, de reforestación y de concientización acerca del consumo de leña por las zonas rurales y urbanas a nivel nacional.
- 2.- Promover como primer punto, la divulgación de este tipo de cocinas en las áreas urbanas ya que es ahí donde casi toda la leña que se consume es comprada, lo cual quiere decir, que dicha leña proviene de la tala de árboles. Además, las facilidades de energía eléctrica en el área urbana son mucho mayores que en el área rural.
- 3.- Divulgar, a través de la Universidad de El Salvador, la cocina aquí presentada, dentro de las Instituciones Gubernamentales, Privadas e Internacionales, con el fin de que paulatinamente se pueda ir introduciendo dentro del sector rural que ya cuenta con Energía Eléctrica.
- 4.- Para el sector rural que no cuenta con energía eléctrica, promover a corto plazo la utilización de cocinas de combustión eficiente de leña (tipo "Lorena"); y a mediano o largo plazo implantar programas de electrificación para esas zonas.

- 5.- Continuar efectuando estudios sobre materiales que puedan ser utilizados para la construcción de la base de la cocina.
- 6.- Efectuar estudios a través de encuestas nacionales sobre este tipo de problemas con el fin de buscar soluciones acordes a la realidad.
- 7.- A través de la Universidad de El Salvador, buscar un acercamiento a nivel Latinoamericano, en general, y Centroamericano, en particular, con el fin de promover soluciones al problema del consumo de leña. Centroamérica es tan pequeña relativamente, que los problemas de deforestación de un país pueden afectar a todo el ecosistema de la región.
- 8.- Realizar estudios sobre el impacto dentro de la Generación de Energía Eléctrica, con la implementación de este tipo de cocinas. Actualmente se considera que un 7 % de la electricidad generada en el país, es consumida por las cocinas eléctricas. Si bruscamente se implantara este tipo de cocina, a las horas pico de la curva de demanda de energía, la potencia requerida podría llegar a ser mayor que la capacidad instalada, lo cual implicaría una inversión para suplir la demanda de potencia.
- 9.- Incentivar los estudios como este y promoverlos en su implementación y utilización.

IX. BIBLIOGRAFIA

1. GERMAN APPROPRIATE TECHNOLOGY EXCHANGE (GATE). Helping People in Poor Countries Develop. Fuel-Saving Cookstoves. GATE 1980.
2. ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA (OLADE). Balances Energéticos de América Latina, Noviembre 1981, Quito, Ecuador.
3. HERNANDEZ, JOSE MIGUEL. Balance Energético Nacional y un Resultado Importante: Consumo de Leña. Primer Volumen del V Congreso Nacional de Ingeniería, El Salvador, 1981.
4. COMISION EJECUTIVA HIDROELECTRICA DEL RIO LEMPA (CEL). Serie de Balances energéticos de 1970 a 1985, San Salvador, El Salvador.
5. INSTITUTO DE RECURSOS HIDRAULICOS Y ELECTRIFICACION (IRHE). Estudio sobre las eficiencias de las cocinas, 1980, Panamá.
6. LOPEZ TORRES, F. O. Y GRANIELLO CHACON, E. R. Diseño y Construcción de una Cocina para un mejor Aprovechamiento de la Leña, San Salvador, El Salvador, 1983.

7. KURT BIEK. Manual de Fórmulas Técnicas, Representaciones y Servicios de Ingeniería S.A., México, 1977.
8. MANRIQUE, JOSE A. Transferencia de Calor, Harla, México, 1976.
9. TITHERINGTON, D. Y RIMMER, J. G. Mecánica, Mc Graw Hill, México, 1973.
10. ROHSENOW, WARREN M. AND HORTNETT, JAMES P. Handbook of Heat Transfer, Mc Graw Hill, U.S.A., 1973.
11. KREITH, FRANK. Principios de Transferencia de Calor, Herrero Hermanos y Sucesores, S.A., México, 1968.