



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Diseño, Manufactura e
Implementación de un Sistema Rf,
Aplicado a una Alarma Vecinal**

TESIS

Que para obtener el título de:

Ingeniera Eléctrica Electrónica

Ingeniero Mecatrónico

Ingeniero Mecánico

P R E S E N T A N:

Susana Martínez Hernández

Rodrigo José Torres García

Freydid Gustavo Nieto García

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. José Luis Fernández Zayas



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2016

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

Le doy gracias a mis padres Daniel y Rosa por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado, y por haberme dado la oportunidad de tener una buena educación en el transcurso de mi vida. Sobre todo tú papa, por ser mi inspiración y un excelente ejemplo de vida a seguir.

A mi amado esposo Freydid quien ha sido el impulso durante toda mi carrera y el pilar principal para la culminación de la misma, que con su apoyo constante y amor incondicional ha sido compañero inseparable, fuente de sabiduría, calma y consejo en todo momento. Este proyecto no fue fácil, pero tu perseverancia y pasión hizo que un sueño se hiciera realidad.

A mis preciosos hijos Iktan y Nahil quienes con su luz han iluminado mi vida y son una motivación para nunca rendirme y seguir adelante.

Mil gracias a la UNAM por abrirme las puertas desde el bachillerato, fue el lugar en donde comencé a tomar mis propias decisiones y en donde aprendí miles de cosas.

Agradezco a la Facultad de Ingeniería quien se convirtió en mi segunda casa, y fue quien hizo de mí una profesionista con valores inquebrantables. Gracias por todos los buenos y malos momentos, disfrute todo lo vivido allí.

Gracias a todas aquellas personas que de una forma u otra me han apoyado durante este largo trayecto.

Susana

A mi madre, porque cada logro no sería posible sin su noble esfuerzo.

A mis hermanos, por contar con su apoyo durante este periodo, fueron mis mejores asesores de ciencias básicas.

A mi padre, porque trató siempre de inculcar en mí el hábito de razonar.

A la Facultad de Ingeniería por la formación académica invaluable.

Al Ing. Carlos Flores Alva cuya valiosa colaboración hizo posible en gran medida este trabajo.

Rodrigo José

Definitivamente este trabajo no se habría podido realizar sin la colaboración de muchas personas que me brindaron su ayuda.

Siempre resultará difícil agradecer a todos aquellos que de una u otra manera me han acompañado en mi preparación académica y más aún en el proceso de titulación, porque nunca alcanza el tiempo, el papel o la memoria para mencionar o dar con justicia todos los créditos y méritos a quienes se lo merecen. Por tanto, quiero agradecerles a todos ellos cuanto han hecho por mí, para que este trabajo saliera adelante de la mejor manera posible.

Partiendo de esta necesidad y diciendo de antemano MUCHAS GRACIAS.

Primeramente deseo agradecer especialmente a Dios por ser fuente de motivación en los momentos de angustia y después de varios esfuerzos, dedicación, aciertos y reveses que caracterizaron el desarrollo de mi formación profesional y que con su luz divina me guio para no desmayar por este camino que hoy veo realizado.

A mis hijos Iktan Itzamna y Nahil Etamanel que han sido la fuente de motivación, para que sea yo un ejemplo a seguir y que con dignidad y honestidad sean hombres de bien en esta sociedad.

A mi esposa Susana Martínez Hernández quien ha estado con migo en toda mi carrera en las buenas y en las malas a la cual agradezco toda su comprensión y apoyo.

A mis padres, Sr. José Martiniano Nieto Salazar y Sra. Crispina García Hernández por hacer de mí una mejor persona a través de su ejemplo de honestidad y entereza por lo que siempre han sido una guía a lo largo de mi vida.

***Agradezco a mi asesor de tesis Dr. José Luis Fernández Zayas** por su gran apoyo para la elaboración de esta tesis, le agradezco infinitamente su tiempo compartido y por impulsar el desarrollo de mi formación profesional.*

A quienes jamás encontraré la forma de agradecer el cariño, comprensión y apoyo brindado en los momentos buenos y malos de mi vida, hago este triunfo compartido, sólo esperando que comprendan que mis ideales y esfuerzos son inspirados en cada uno de ustedes.

Freydid Gustavo



INDICE

Introducción.

- Justificación.....	13
- Objetivo y Propósito.....	16

Capítulo I. Antecedentes Teóricos.

Espectro electromagnético y radiofrecuencia.....	17
Modelado matemático de un sistema RF.....	19
Circuitos RF.....	19
Cristal oscilador de cuarzo.....	20
Ecuaciones básicas de circuitos.....	20
Impedancias y admitancias.....	21
Resonancia en serie.....	21
Filtros básicos.....	21
Respuesta en frecuencia.....	22
Modulación y demodulación de una señal.....	23
Modulación digital de amplitud.....	24
Sistemas de Telecomunicaciones.....	25

Capítulo II. Diseño Electrónico del Sistema de Transmisión/Recepción.

Diseño electrónico de la placa de transmisión RX.....	27
Aplicaciones del resonador.....	28
Relevadores.....	29
Reguladores de voltaje.....	30
Características del módulo transmisor.....	32
Integrado HT12E.....	32
Tabla de selección.....	32
Desarrollo del sistema transmisor.....	33
Requerimientos y diseño electrónico.....	35
Consumo de corriente en estado estacionario.....	36
Disposición de la batería.....	37
Comprobación de carga de la batería.....	37
Codificación para el alcance de una frecuencia análoga.....	37
Radio de alcance de la señal.....	37



Manufactura de la placa Transmisora	38
Diseño de PCB por medio de PROTEUS	38
Mejoras posteriores y diseño final de la placa	38
Diseño electrónico de la placa receptora RX.....	39
Características del módulo receptor.....	40
Integrado HT12D	40
Tabla de selección.....	41
Requerimientos y diseño electrónico	42
Aislamiento del circuito de potencia	43
Aislamiento de la línea.....	43
Codificación de la señal.....	44
Manufactura de la placa Receptora	44
Capacitores de acoplamiento.....	44
Diseño de PCB con PROTEUS	44
Diseño final de la placa receptora.....	45
Diagrama de conexiones del sistema	46
Capítulo III. Diseño y Manufactura de Antenas.	
Principios básicos de antenas.....	49
Tipos y aplicaciones de antenas.....	50
Parámetros importantes de antenas.....	51
Polarización.....	51
Impedancia de entrada	51
VSWR Voltage Standing Wave Ratio.....	51
Directividad.....	52
Ganancia.....	52
Planos horizontal y vertical.....	52
Software para el modelado y diseño de antenas	53
Simulación de antenas con FEKO.....	54
Antena helicoidal TX.....	54
Diseño y simulación de la antena helicoidal en configuración axial	55
Antena dipolo UHF $\frac{1}{4}$ de onda con plano de tierra artificial (Rx).....	57
Cálculo básico de la antena $\frac{1}{4}$ de onda.....	58
Diseño y manufactura de la antena	59



Capítulo IV. Diseño y Prototipo de la Carcasa del Emisor.

Modelo físico en masilla epóxica y gel coat.....	61
Molde y fundición.....	65
Justificación.....	65
El moldeo a la cera perdida	66
Introducción del método a la cera perdida	66
Procedimiento usado para la carcasa del control remoto	68

Capítulo V. Horno de Fundición y Molde Metálico.

Manufactura del horno de fundición	73
Fundición y obtención del molde	74
Montaje y corrección del molde	77

Capítulo VI. Bobina de Inyección de Plástico.

Diseño de y manufactura de la bobina de inyección	79
Cálculos realizados para el funcionamiento de la bobina.....	80
Circuito de control de temperatura.....	83
Puente rectificador.....	83
Termoacoplador.....	84
Operación del circuito.....	85
Posibles mejoras al sistema actual	85
Uso de display para el despliegue de lecturas de temperatura.....	85
Prueba de la bobina de temperatura	86
Losplásticos.....	86
Clasificación de los polímeros.....	87
Elastómeros.....	87
Termoestables.....	87
Termoplásticos.....	88
Aditivos.....	91
Procesos de manufactura de los plásticos	93
Conformados de los plásticos	93



Capítulo VII. Manufactura de la Carcasa del Emisor con inyección de Plástico.

Inyección.....	95
El proceso de inyección	95
Máquinas de inyección.....	96
Características básicas de las maquinas	96
Capacidad de inyección.....	96
Capacidad de plastificación.....	97
Presión de inyección.....	97
Velocidad de inyección.....	98
Variables que intervienen en el proceso	99
Temperatura de inyección.....	99
Temperatura del molde	99
Presión inicial o de llenado	99
Presión de mantenimiento o compactación.....	100
Presión posterior o de retroceso.....	100
Tiempo de inyección inicial.....	100
Tiempo de mantenimiento o compactación.....	100
Tiempo de enfriamiento.....	101
Fundamentos del moldeo por inyección	101
Control de la temperatura en la cámara de calefacción.....	101
Comportamiento del material dentro del molde	103
Análisis de la etapa de llenado de la cavidad	104
Flujo de material durante la etapa de llenado	104
Determinación del tiempo óptimo de llenado	106
Análisis de la etapa de compactación.....	108
Transición entre llenado y compactación	108
Influencia de variables durante la fase de compactación.....	110
Análisis de la etapa de enfriamiento.....	111
Análisis del proceso a partir de curvas p-v-t	112
Defectos comunes en piezas inyectadas	114
Pruebas de inyección.....	117
Pruebas de algunos plásticos	119
Mejoras en la carcasa.....	121
Resultados Esperados y Obtenidos	123



Conclusiones	125
Bibliografía	127
Anexos	
Ficha técnica de la masilla epóxica.....	129
Ficha técnica de los materiales para el pulido de la pieza de Zamak.....	131
Ficha técnica del Suaren No. 8.....	134





INTRODUCCIÓN

Justificación

Desde que se tiene la inspiración de ingresar a la carrera de ingeniería uno lleva la intención de generar algún aporte en beneficio de la comunidad y en nuestro caso no es distinto, al contrario nos genera un reto y una satisfacción el poder aplicar nuestros conocimientos adquiridos durante la carrera y poder dar solución a un problema de esta magnitud.

Estamos conscientes que una sola persona no podría dominar todos los temas necesarios para hacer real un proyecto, de hecho de eso se trata la ciencia, de una transición de conocimientos a una o varias personas con la finalidad de generar algún aporte a la humanidad, pero en este caso nos hemos reunido un grupo de compañeros de 3 áreas para hacer posible la enmienda que nos asignaron por medio de una propuesta comunitaria.

Que es la de realizar una alarma vecinal con un objetivo preventivo y que pueda persuadir o disuadir dichos actos que afectan a la misma comunidad.

Ante los altos índices de delincuencia y su irreversible estadística de crecimiento hoy por hoy es indispensable sentirse seguro y brindar esta seguridad a nuestros seres queridos, además de proteger lo que hemos logrado con el esfuerzo de nuestro trabajo, al hacer la petición de un sistema de vigilancia se está determinando que se tiene conciencia absoluta de que todos estamos expuestos a vivir algún suceso inesperado e infortunado.

El sistema tiene la finalidad de generar una mayor tranquilidad a la comunidad y aportar más seguridad ya que para nosotros nuestra familia es invaluable.

Al concentrarnos 3 compañeros de diferentes carreras, es con la finalidad de no solo diseñarla, sino de manufacturarla y ponerla en funcionamiento. Para que esta genere los resultados esperados por la comunidad que la ha pedido.

Entendiendo cual es la situación en la que se encuentra esta comunidad, la cual está ubicada en Ecatepec, municipio del Estado de México, así podemos entender que está pasando y el por qué la urgencia de que estas alarmas estén ya operando en la zona.

Ecatepec: delitos de alto impacto, al alza

Emilio Fernández. El Universal

Sábado 28 de diciembre de 2014

Ecatepec, el ayuntamiento más poblado del país, encabeza el índice delictivo en la entidad mexicana en todos los rubros: robo a casa habitación, a transeúnte, transporte y a usuarios del servicio concesionado y extorsión, entre otros, según datos de la PGJEM.

ZONA INSEGURA

El municipio ocupa el primer lugar en incidencia delictiva de los ayuntamientos del Estado de México

Población



1.65 millones
habitantes*

Representa el
10.9%



Total del Edomex: 15 millones 175 mil 862



LO POSITIVO



*Es el municipio más poblado del Edomex con 1,656,107 habitantes.
Fuente: PGJEM, Primer informe de gobierno Ecatepec

Por el incremento de delitos en Ecatepec, grupos de residentes se han organizado para hacerles frente a los delincuentes.

El caso más reciente es el de los taxistas que anunciaron la creación de grupos de autodefensa para combatir a los ladrones que han matado a varios de los operadores en los últimos meses.

Figura 1. Aumento de atracos en Ecatepec.

¿Por qué hay tanta violencia en México?

- Hay tres factores:
 - Falta de oportunidades a jóvenes en situación de riesgo.
 - Mal gobierno: Corrupción e ineficacia.
 - Narco-menudeo.
- La principal causa de violencia extrema en el país se debe al narco-menudeo.
- La actual política de drogas en México no sólo no reduce adicciones sino que fomenta la creación de mafias de mercado negro.
- El mercado negro (por naturaleza) defiende la plaza con violencia.
- Una vez que toma la plaza se extiende a delitos como el secuestro, la extorsión y el robo de autos con violencia.
- El mercado negro también corrompe autoridades municipales, estatales y federales.
- En el mejor de los casos, con las fuerzas federales y el ejército se atenúa la violencia pero no se elimina la causa.
- Mientras los ciudadanos no entendamos esto y presionemos, no habrá un cambio significativo en México [1].

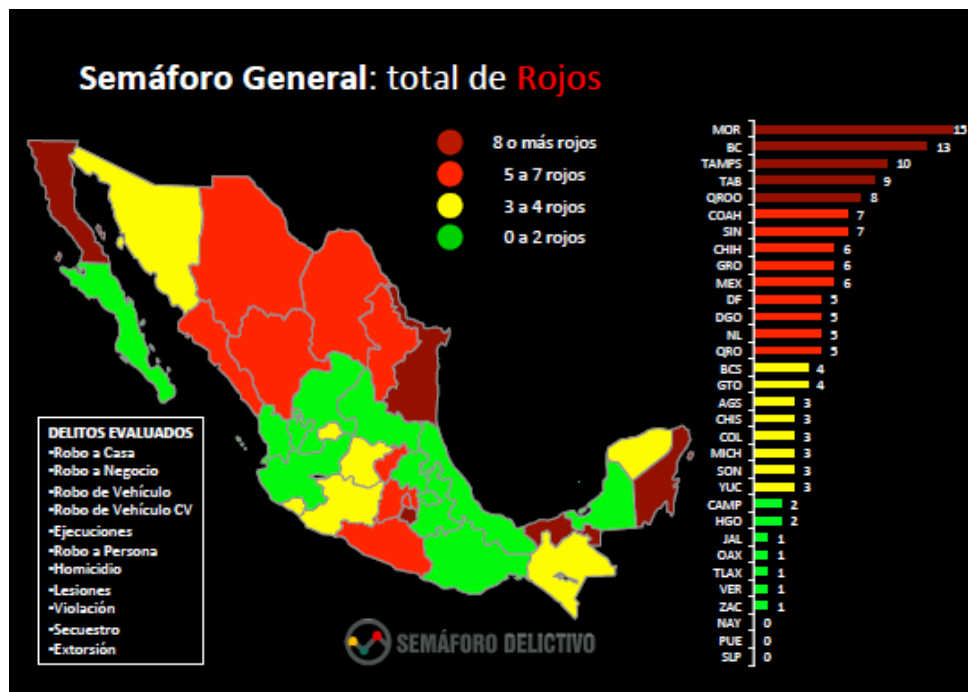


Figura 2. El semáforo es una fuente de información creada por financiamiento privado.



¿Cuál es el fundamento jurídico?

- Ley Orgánica de la Administración Pública.- Artículo 39 fracciones XIV y XVI.
- Ley de Seguridad Pública del Distrito Federal, Artículos 2°, 16, 17, 26, fracción VII; 27, fracción III y 28, fracción IV.
- Ley Orgánica de la Secretaría de Seguridad Pública, Artículo 3°, fracciones I y II.
- Ley de Procedimiento Administrativo del Distrito Federal.- Artículo 6, fracción VIII; 9; 29, fracción I, II, III, IV V y VI; 32; 34; 39, fracción VI; IX y X; 40; 43; 46; 52; 59; 86 y 87, fracción I, II, III y IV.
- Reglamento Interior de la Administración Pública del Distrito Federal.- Artículos 122 bis, 136, fracción XVI; 139, fracción VIII; 145, fracciones IX, X y XI y 156 Bis, fracción IV^[2].

Objetivo

El objetivo principal del presente trabajo es el diseño, la manufactura y la aplicación en campo, de un producto basado en la radio frecuencia, aplicándolo a una alarma vecinal, teniendo en cuenta que no es un sistema aislado, el sistema se puede adaptar a varias aplicaciones de acuerdo a las necesidades.

Propósito

El propósito de este trabajo de tesis, es la aplicación de un sistema de radio frecuencia, para su operación en un dispositivo de alarma, integrado a grandes rasgos por un gabinete de potencia, un actuador (sirena y estroboscopio), un dispositivo de largo alcance (control con codificador de 4 bits), teniendo en consideración todos los procesos de manufactura implicados en su desarrollo y puesta en marcha, desde el diseño del sistema, la manufactura de los componentes que alojarán los circuitos, instalación del sistema, y la aplicación de este en campo, englobando un sistema compuesto por un emisor y un receptor generando un beneficio a la comunidad.

Una de las ventajas de este sistema es que no es aislado, tiene la bondad de ser aplicado a una variedad de propósitos conforme la radio frecuencia lo permita, ya que en nuestro caso logramos obtener un alcance de 300 metros activando una alarma vecinal, pero se pueden tener aplicaciones de corto alcance para funciones de domótica, automatización de dispositivos residenciales, entre otros. La importancia de esta tesis es que se trata de un trabajo probado con base en la implementación física y es la aplicación de los conocimientos adquiridos durante la carrera, en contraste con un sistema experimental.



Capítulo I

Antecedentes Teóricos

Para la correcta definición de un sistema de radiofrecuencia, debemos considerar ciertos conceptos teóricos fundamentales ya que sin los cuales sería imposible determinar el funcionamiento y principio de operación de dicho sistema. A continuación se mencionan los conceptos básicos que forman parte de la estructura electrónica de la alarma.

Espectro Electromagnético

Se denomina espectro electromagnético al conjunto de ondas electromagnéticas. Si lo referimos a un objeto decimos que es la radiación electromagnética que emite o absorbe una sustancia.

Las ondas electromagnéticas abarcan un espectro extremadamente amplio de longitud de onda y frecuencia. Este espectro electromagnético comprende la transmisión de radio y televisión, la luz visible, la radiación infrarroja y ultravioleta, los rayos X y los rayos gamma.

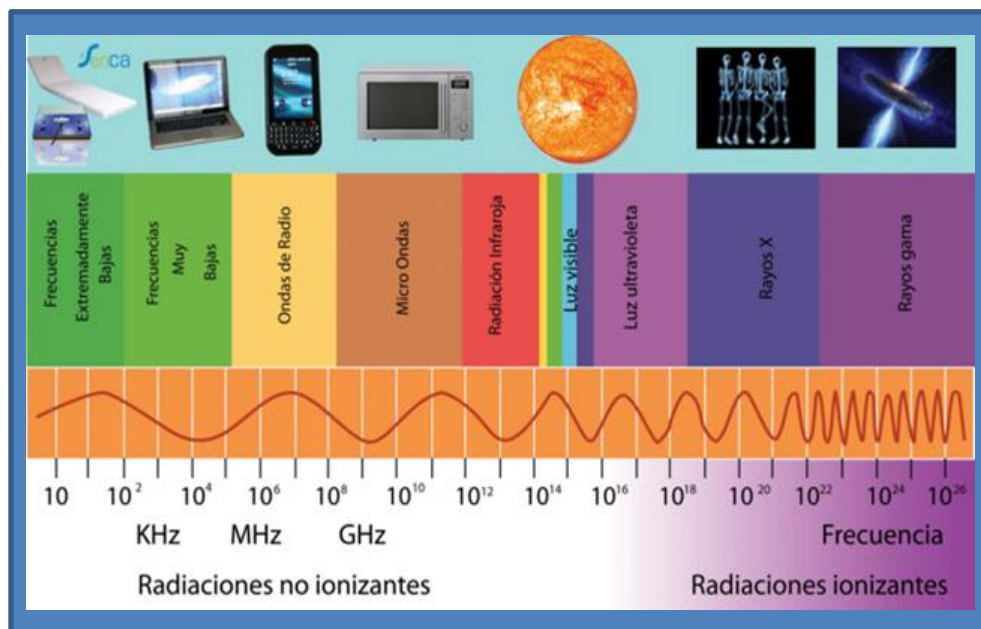


Figura 1.1. Espectro electromagnético.

Radiofrecuencia

La clave de los sistemas de comunicación inalámbrica y particularmente de los sistemas de radio surgieron de la física teórica, Maxwell consolidó las conocidas leyes de la electricidad y magnetismo y añadió el término de desplazamiento de corriente $\frac{\delta D}{\delta t}$. En virtud de este término un campo eléctrico cambiante produce un campo magnético, tal y como Faraday había descubierto que el campo magnético produce un campo eléctrico. Las ecuaciones de Maxwell predecían que las ondas electromagnéticas pueden separarse de las corrientes eléctricas que las generan y propagarse independientemente a través del vacío con las componentes del campo eléctrico y magnético de la onda regenerándose constantemente la una a la otra. Las ecuaciones de Maxwell predijeron que la velocidad de esas ondas sería de $1/\sqrt{\epsilon_0\mu_0}$ donde las constantes ϵ_0 y μ_0 pueden ser determinadas por las simples mediciones de las fuerzas entre las cargas eléctricas estáticas y los cables portadores de corriente. El resultado es la velocidad de la luz conocida experimentalmente 3×10^8 [m/s]. De esta forma la naturaleza electromagnética de la luz fue revelada. Hertz llevo a cabo una serie de experimentos en los cuales generó y detectó ondas electromagnéticas con longitudes de onda muy largas comparadas con la luz. La utilización de ondas hertzianas (ondas electromagnéticas) para transmitir información fue desarrollada en conjunto con la ciencia de la electrónica.

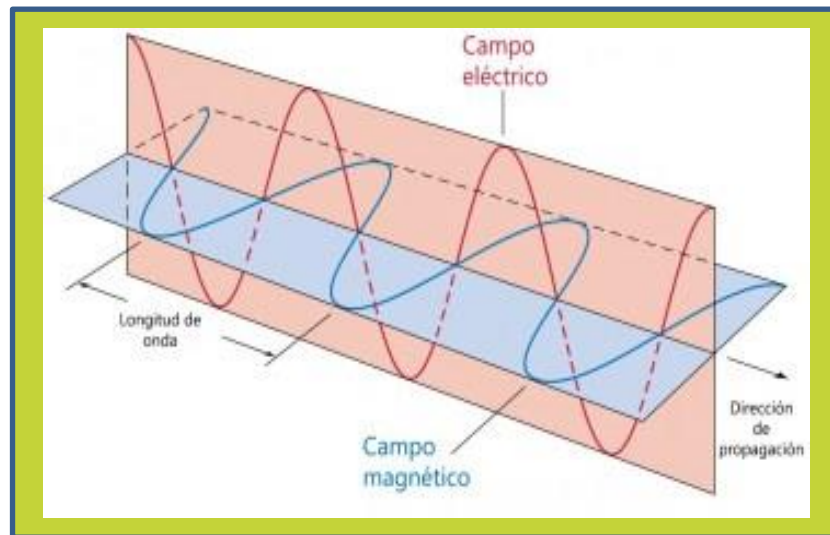


Figura 1.2. Propagación de una onda electromagnética constituida por las componentes del campo magnético y eléctrico.



Modelado matemático de un sistema de radiofrecuencia

Debido a su característica de banda estrecha, una onda elemental sinusoidal de un circuito AC sirve para la mayoría de las aplicaciones de RF. El método estándar para el análisis AC que trata a los voltajes y corrientes en redes lineales está basado en la linealidad de los componentes del circuito: resistores, capacitores, inductores, etc.

Cuando un generador de voltaje sinusoidal o de corriente maneja un circuito hecho de elementos lineales el resultado en estado estacionario son voltajes y corrientes perfectamente sinusoidales y tendrán la misma frecuencia que el generador.

Normalmente encontraremos la respuesta (amplitudes y fases de corriente y voltaje) de circuitos manejados por AC por medio de un artificio matemático, reemplazamos el generador sinusoidal por un generador hipotético cuya dependencia en el tiempo es $e^{-j\omega t}$.

En lugar de $\cos(\omega t)$ o $\sin(\omega t)$. Esta función tiene ambas parte real e imaginaria dado que: $e^{-j\omega t} = \cos(\omega t) + j\sin(\omega t)$. El generador lleva a una solución compleja (no física) pero las partes real e imaginaria de la solución son separadamente buenas soluciones físicas.

El valor de este método (aparentemente indirecto de solución) es que la sustitución de la fuente compleja convierte al conjunto de ecuaciones diferenciales lineales en un conjunto de ecuaciones algebraicas de fácil resolución.

- Cuando el circuito tiene una topología simple, puede ser reducido a un lazo simple al combinar una serie de ramas en serie y en paralelo.
- Algunos programas resuelven las corrientes y voltajes en complejos circuitos AC, dichos programas pueden hacer un análisis en estado estacionario de AC en lugar de uno en estado transitorio.
- Programas especiales de análisis de AC lineal para RF y microondas como el ADS de Agilent y MMICAD, incluyen modelos para striplines, wave guides y otros componentes RF.

Circuitos RF

Los circuitos que generan, amplifican, modulan, demodulan, filtran, detectan y miden voltajes de corriente alterna y corrientes a frecuencias de radio son los bloques a partir de los cuales los sistemas de radiofrecuencia son diseñados.



Cristal oscilador de cuarzo

Un cristal oscilador es el componente usado como fuente de señal de un circuito de radiofrecuencia. La deflexión del cristal ocasiona cambios de voltaje a través de las superficies por su propiedad de material piezoeléctrico. Teniendo en cuenta el hecho de que los cristales de cuarzo proporcionan un gran nivel de estabilidad, son usados en circuitos osciladores para proveer señales de radiofrecuencia estables y exactas.

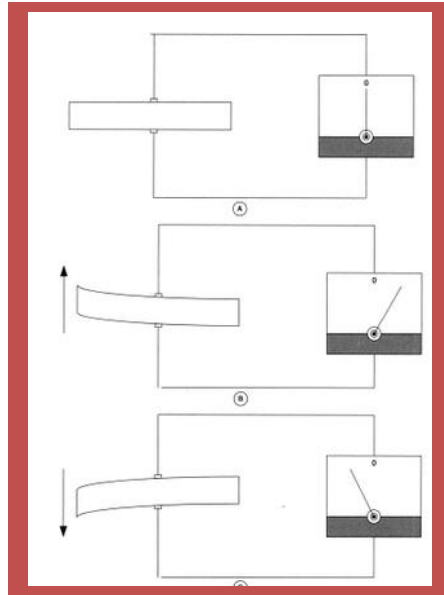


Figura 1.3. La deflexión de un cristal oscilador de cuarzo causa cambios de voltaje a través de las superficies.

Ecuaciones básicas de circuitos

Las leyes básicas que rigen el comportamiento de los circuitos eléctricos se mostrarán de forma únicamente referencial para ser empleadas en los modelos definidos posteriormente.

Capacitor: Un voltaje aplicado a las placas del capacitor da por resultado un campo eléctrico entre ellas y la corriente que fluye por el capacitor es directamente proporcional a la razón de cambio respecto al tiempo de voltaje a través de él.

$Q = Cv$, donde Q es la carga, C es la capacitancia y V el voltaje

Calculando la derivada se tiene $i_c = C \frac{dv_c}{dt}$;

Inductor: Una corriente que fluye por un conductor, como un alambre, produce un campo magnético a través de ese conductor. Más aún si dicho conductor se enrolla formando un devanado o bobina el campo magnético es reforzado. El voltaje que fluye por el elemento resultante que se conoce como inductor, es directamente proporcional a la razón de cambio respecto al tiempo de la corriente que fluye por él. La relación entre voltaje y la corriente para este elemento está dada por: $v_L = L \frac{di_L}{dt}$.

Impedancias y admitancias

Los coeficientes de las ecuaciones de circuitos algebraicas son funciones de las impedancias complejas (V/I), o admitancia (I/V), de los elementos RLC. El voltaje a través del inductor es $L \frac{di}{dt}$. Si la corriente es $I_0 e^{j\omega t}$, derivando entonces el voltaje es $(j\omega L)I_0 e^{j\omega t}$. Queda entonces la impedancia como $j\omega L$. Siguiendo el mismo criterio, siendo la corriente en un capacitor $i = C \frac{dV}{dt}$, entonces su impedancia es $\frac{1}{j\omega C}$ ó $\frac{-j}{\omega C}$.

Resonancia en serie

Un capacitor y un inductor en serie tienen una impedancia $Z_s = j\omega L + \frac{1}{j\omega C}$

Esta expresión puede ser escrita como $Z_s = j \left(\frac{L}{\omega} \right) \left(\omega^2 - \frac{1}{LC} \right)$; la impedancia es cero cuando la frecuencia es $\frac{1}{\sqrt{LC}}$. A esta frecuencia de resonancia, el circuito serie LC es un perfecto corto circuito. Iguales voltajes son desarrollados a lo largo del inductor y capacitor pero con diferente signo y el voltaje neto desciende a cero.

En resonancia y en un estado estable no hay transferencia de energía dentro o fuera de esta combinación (dado que el voltaje general es siempre cero, la potencia IV es siempre cero). Sin embargo el circuito si contiene energía almacenada la cual simplemente rebota de ida y vuelta entre el inductor y el capacitor. Este circuito es por sí mismo un filtro pasa banda simple.

Filtros básicos

Los filtros analógicos pueden dividirse en 2 tipos:

Filtros pasivos: los que atenuarán la señal en mayor o menor grado, implementados a partir de componentes pasivos como capacitores, inductores y resistencias.

Filtros activos: son filtros que pueden presentar ganancia en toda o parte de la señal de salida respecto a la de la entrada. Se implementan a partir de amplificadores operacionales. No contienen bobinas, sólo en el caso de frecuencias muy altas.

Los filtros pasa banda son elementos básicos en los circuitos de radio, por ejemplo, en receptores de radio, para seleccionar la estación deseada. Discutiremos filtros de elementos agrupados compuestos por inductores y capacitores. Primeramente, revisaremos los filtros pasa bajas, y entonces veremos cómo estos sirven como prototipos para la conversión a filtros pasa banda. Comenzaremos con los conocidos prototipos de filtro pasa bajas Butterworth, Chebyshev, Bessel,



etc. Estos prototipos son simples redes LC de escalera con capacitores en serie y capacitores en derivación o paralelo.

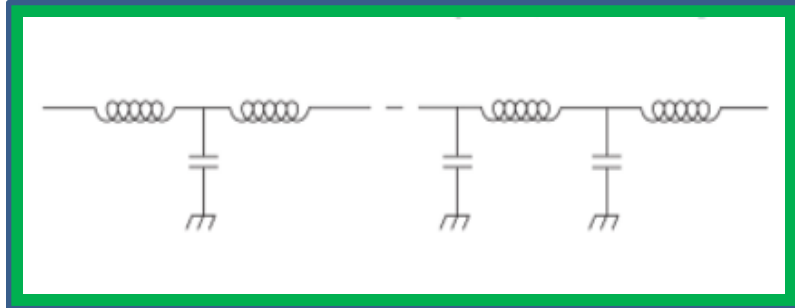


Figura 1.4. Red de escalera pasa bajas.

Un filtro pasa bajas de n secciones tiene n componentes (capacitores e inductores). Los componentes finales pueden ser inductores en serie como se muestra en la figura, capacitores en paralelo o ambos. Dado que no contienen resistencia intencional, estos filtros son filtros reflectivos; fuera de la pasa banda, es el desajuste el que evita que la potencia alcance la carga. La red de escalera puede ser redibujada como una cascada de divisores de voltaje como en la figura 1.5 [2].

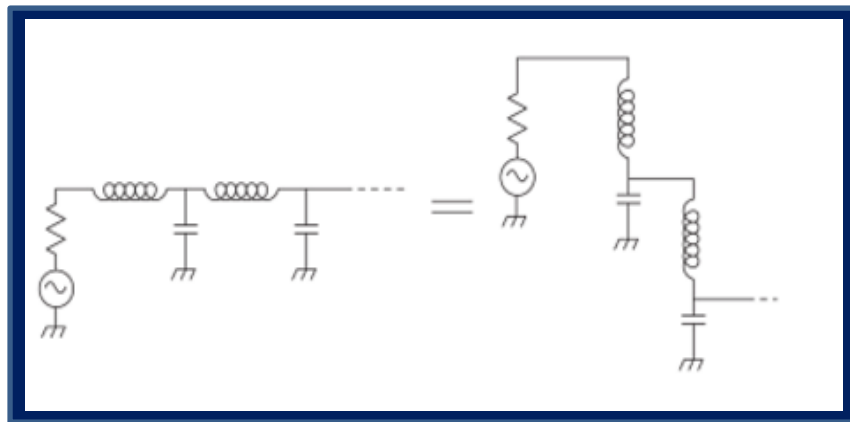


Figura 1.5. Red de escalera como cascada de divisores de voltaje.

Respuesta en frecuencia

Con respuesta en frecuencia, se hace referencia a la respuesta de un sistema en estado estacionario a una entrada sinusoidal. En los métodos de respuesta en frecuencia, la respuesta de la señal de entrada se varía en un cierto rango, para estudiar la respuesta resultante. La información que se extrae de dichos análisis es diferente a la obtenida en el análisis del lugar de las raíces. De hecho, los métodos de la respuesta en frecuencia y del lugar de las raíces se complementan. Una



ventaja del método de la respuesta en frecuencia es que se pueden utilizar los datos que se obtienen de las medidas sobre el sistema físico sin deducir su modelo matemático [3].

Modulación y Demodulación de una señal

Como a menudo no es práctico propagar señales de información a través de cables metálicos o fibra óptica, o a través de la atmósfera terrestre, con frecuencia es necesario modular la información de la fuente, con una señal analógica de mayor frecuencia, llamada portadora. En esencia, la señal portadora transporta la información a través del sistema. La señal de información modula a la portadora, cambiando su amplitud, su frecuencia o su fase. Modulación no es más que el proceso de cambiar una o más propiedades de la portadora, en proporción con la señal de información.

Los dos tipos básicos de comunicaciones electrónicas son analógicas y digitales. Un sistema analógico de comunicaciones es aquel en el que la energía se transmite y se recibe de forma analógica: una señal de variación continua, como por ejemplo una onda senoidal. En los sistemas analógicos de comunicaciones tanto la información como la portadora son señales analógicas.

El término comunicaciones digitales abarca una amplia variedad de técnicas de comunicación que incluyen transmisión digital y radio digital. La transmisión digital es un sistema digital verdadero, donde los pulsos digitales (con valores discretos, como +5V y tierra) se transfieren entre dos o más puntos en un sistema de comunicaciones. Con la transmisión no hay portadora analógica, y la fuente original de información puede tener forma digital o analógica. Si tiene forma analógica se debe convertir a pulsos digitales antes de transmitirla y se debe reconvertir a la forma analógica en el extremo de recepción. Los sistemas de transmisión digital requieren de una instalación física entre el transmisor y el receptor, como por ejemplo el conductor metálico o un cable de fibra óptica.

La ecuación (a) es la descripción general de una onda senoidal de voltaje, variable en el tiempo, como puede ser una señal portadora de alta frecuencia. Si la señal de información es analógica, y la amplitud V de la portadora es proporcional a ella, se produce una modulación de amplitud (AM, por amplitude modulation). Si se varía la frecuencia f en forma proporcional a la señal de información, se produce la modulación de la frecuencia (FM, de frequency modulation); por último si se varía la fase θ en proporción con la señal de información, se produce la modulación de fase (PM de phase modulation).

Si la señal de información es digital, y la amplitud V de la portadora se varía proporcionalmente a la señal de información, se produce una señal modulada digitalmente, llamada modulación por conmutación de amplitud (ASK, de amplitude shift keying).

$$v(t) = V \text{sen}(2\pi ft + \theta) \dots\dots\dots (a)$$

Donde $v(t)$ = *voltaje variable senoidalmente en el tiempo*

V = *amplitud máxima [volts]*

f = *frecuencia [Hertz]*

θ = *desplazamiento de fase [radianes]*

Modulación digital de amplitud

La técnica de modulación digital más sencilla es la modulación digital de amplitud, que no es más que modulación de amplitud con portadora completa y doble banda lateral. La ecuación que describe la modulación digital de amplitud mediante una señal binaria es:

$$v_{am}(t) = [1 + v_m(t)] \left[\frac{A}{2} \cos(\omega_c t) \right] \dots\dots\dots (1)$$

En la que $v_{am}(t)$ = *voltaje variable senoidalmente en el tiempo*

$v_m(t)$ = *señal binaria moduladora [volts]*

$\frac{A}{2}$ = *amplitud de la portadora no modulada [volts]*

ω_c = *frecuencia de la portadora en radianes [radianes por segundo]*

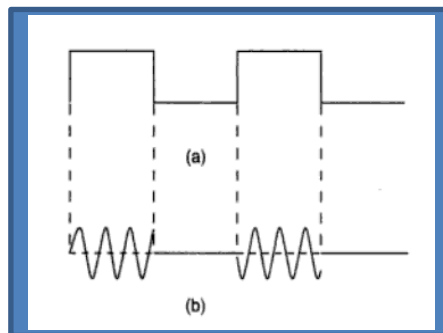


Figura 1.6. Modulación digital de amplitud: a) entrada binaria; b) forma de onda de salida OOK.



En la ecuación (1) la señal moduladora $[v_m(t)]$ es una forma de onda binaria normalizada, en la que $+1V = 1$ lógico y $-1V = 0$ lógico. Por consiguiente, para una entrada de 1 lógico, $v_m(t) = +1$, y la ecuación (1) se reduce a:

$$\begin{aligned} v_{am}(t) &= [1 + v_m(t)] \left[\frac{A}{2} \cos(\omega_c t) \right] \\ &= A \cos(\omega_c t) \end{aligned}$$

Y para una entrada de 0 lógico, $v_m(t) = -1$, y la ecuación (1) se reduce a:

$$\begin{aligned} v_{am}(t) &= [1 + v_m(t)] \left[\frac{A}{2} \cos(\omega_c t) \right] \\ &= 0 \end{aligned}$$

Así que para 100% de modulación, $v_{am}(t)$ es $A \cos(\omega_c t)$ o 0. Por consiguiente, la portadora esta “encendida” o “apagada”, y es la causa de que la modulación digital de amplitud se suele llamar modulación por manipulación de encendido-apagado, o todo o nada (OOK, de on-off keying). A veces, la modulación por amplitud se le llama de onda continua (CW de continuous wave) porque cuando se transmite la portadora (es decir, está encendida), tiene amplitud, frecuencia y fase constantes.

La *figura 1.6* muestra las formas de onda de entrada y salida para un transmisor digital con modulación de amplitud. Una forma de onda OOK se puede desmodular en forma coherente o incoherente con poca diferencia en su funcionamiento. El uso de portadoras analógicas de amplitud modulada para transportar información digital es un tipo de radio digital de relativamente baja calidad y bajo costo, y en consecuencia, rara vez se usa en sistemas de comunicaciones de gran capacidad y eficiencia [4].

Sistemas de Telecomunicaciones

Los sistemas de radio comunicación constan, básicamente, de dos componentes: un transmisor y un receptor. El primero genera oscilaciones eléctricas con una frecuencia denominada frecuencia portadora que se irradian en la antena en forma de ondas electromagnéticas, irradiación llamada onda portadora, que en combinación con la información a transmitir, onda moduladora, constituyen el conjunto de la transmisión que viaja por el espacio hasta ser detectada por el receptor que efectúa el proceso inverso de demodulación para obtener a través de un convertidor la información originalmente transmitida [5].

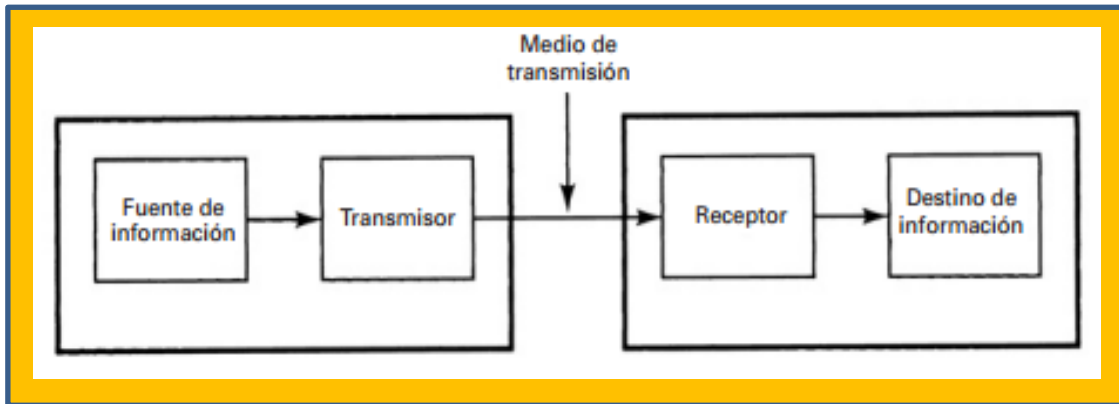


Figura 1.7. Diagrama simplificado de bloques de un sistema de comunicaciones electrónicas.

Las ondas de radio son un tipo de radiación electromagnética con frecuencias que van desde algunos kilohertzios a varios gigahertzios, lo cual al utilizarla como medio de transporte de información ofrece a la radio comunicación tres ventajas importantes:

- No es necesario un medio físico para la propagación de información, las ondas electromagnéticas se propagan incluso en el vacío.
- La información viaja rápidamente, esto es: a 300.000 Km/s.
- Objetos que a nuestra vista resultan opacos son transparentes a las ondas de radio.

Denominación	Siglas	Margen de frecuencias
Frecuencias muy bajas	VLF	3 - 30 KHz.
Frecuencias bajas	LF	30 - 300 KHz.
Frecuencias medias	MF	300 - 3000 KHz.
Frecuencias altas	HF	3 - 30 MHz
Frecuencias muy altas	VHF	30 - 300 MHz
Frecuencias ultra altas	UHF	300 - 3000 MHz
Frecuencias super altas	SHF	3 - 30 GHz
Frecuencias extra altas	EHF	30 - 300 GHz

Figura 1.8. Bandas de frecuencia.



Capítulo II

Diseño Electrónico del Sistema Transmisión/Recepción

Diseño electrónico de la placa de transmisión RX

Los módulos transmisores de RF en su mayoría usan un esquema de modulación ASK. En él, las señales de datos ocasionan que la amplitud de la portadora varíe entre 2 niveles (OOK). El esquema circuital de un transmisor es muy simple, por lo general, es sólo un transmisor y a lo sumo, un elemento estabilizador, como un resonador SAW (surface acoustic wave, onda acústica de propagación superficial). Posee un pin para recibir datos y 2 pines de alimentación.

En el diseño de la placa transmisora se consideraron múltiples componentes electrónicos que en su conjunto fueran capaces de generar una señal de 433MHz. El elemento principal de la placa de transmisión TX es el resonador SAW capaz de proveer una confiable estabilización de frecuencia de cuarzo en transmisores u osciladores locales, cuyo modelo equivalente LC y circuito de prueba se muestra a continuación:

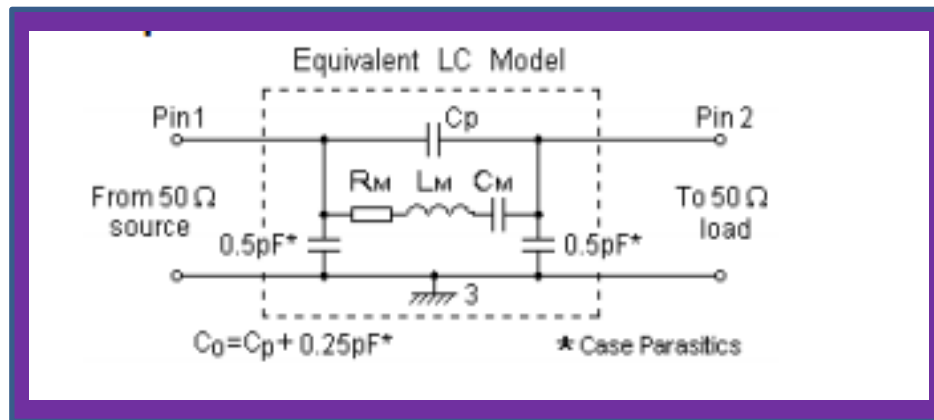


Figura 2.1. Circuito equivalente del resonador SAW.

Donde los componentes electrónicos son los siguientes:

R_M = resistencia dinámica del cristal

L_M = inductancia dinámica del cristal

C_M = capacitancia dinámica del cristal

C_P = capacitancia estática del cristal

En la representación física del circuito debemos ser capaces de identificar los componentes electrónicos y su función específica:

C_p - modela la capacitancia real formada entre los electrodos del cristal. Los componentes en serie modelan el cristal propiamente (R_m - modela la pérdida por fricción mecánica). Considerando despreciable la resistencia R_m podemos observar que el cristal dispone de un circuito equivalente serie y otro paralelo. En otras palabras, dispone de una impedancia serie, formada por R_s , L_m y C_m y otra en paralelo.

Las frecuencias resonantes (serie) y antiresonantes (paralelo) son dadas en la siguiente ecuación: (el término 2π es añadido para la conversión a Hz).

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_M C_M}}$$

$$f_p = f_s \sqrt{1 + \frac{C_M}{C_P}}$$

Aplicaciones del resonador

Dentro de las aplicaciones típicas del resonador se encuentran la de oscilador local y la de transmisor de baja potencia, esta última es la configuración para la cual se realizó el análisis y armado experimental y cuyo circuito se muestra a continuación:

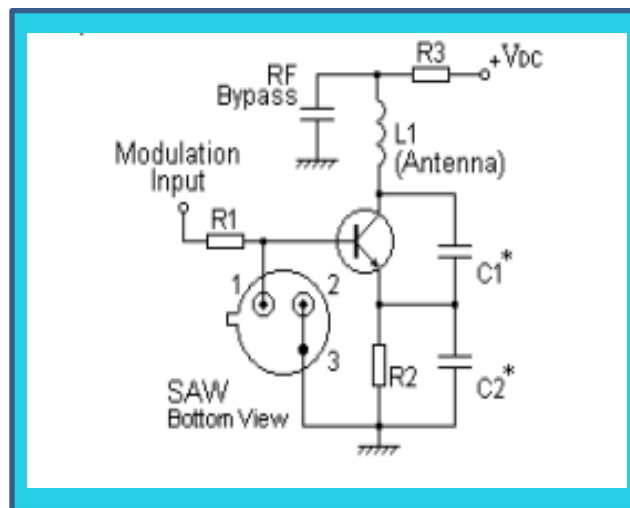
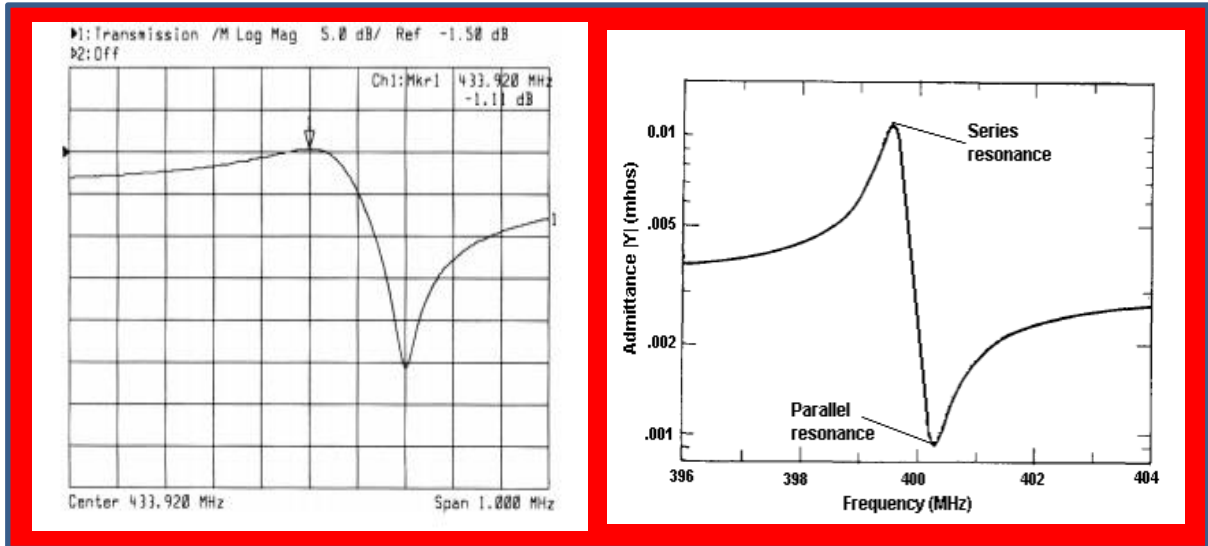


Figura 2.2. Resonador como transmisor de potencia.



La respuesta en frecuencia típica con una frecuencia central de 433.9 MHz ofrecida por el resonador se muestra a continuación:



La curva de admitancia de un resonador SAW, muestran los valores de resonancia en serie y en paralelo, además de la ofrecida por el fabricante y la típica.

Relevadores

Un relevador es un excelente método para aislar un dispositivo lógico de voltaje de un circuito de alto voltaje. La figura muestra cómo podría conectarse un inversor TTL o CMOS con un relevador. Cuando la salida de un inversor cambia a un estado ALTO, el transistor se enciende y se activa el relevador. Cuando está activado, los contactos normalmente abiertos (NO) del relevador se cierran conforme la armadura se desplaza hacia abajo. Cuando la salida del inversor de la figura conmuta a un estado BAJO, el transistor deja de conducir y se desactiva el relevador; a su vez, la armadura se desplaza hacia arriba a su posición normalmente cerrada (NC). El diodo sujetador conectado entre la bobina del relevador evita la presencia de picos de voltaje que pudieran inducirse al sistema.

El circuito de la figura 2.3 utiliza un relevador para aislar un motor eléctrico de los dispositivos lógicos. Observe que el circuito lógico y el motor de cd contarán con fuentes de alimentación diferentes. Cuando la salida del inversor cambia a ALTA, el transistor se enciende y los contactos NO del relevador se cierran, mientras que el motor de cd comienza a trabajar. Cuando la salida del inversor cambia a BAJO, el transistor deja de conducir y los contactos del relevador vuelven a su posición NC. Lo anterior apaga el motor. El motor eléctrico de la *figura 2.3* genera un movimiento



rotatorio; por otra parte un solenoide es un dispositivo eléctrico que puede generar movimiento lineal. Un solenoide es manejado por una compuerta lógica. Observe la fuente de alimentación independiente.

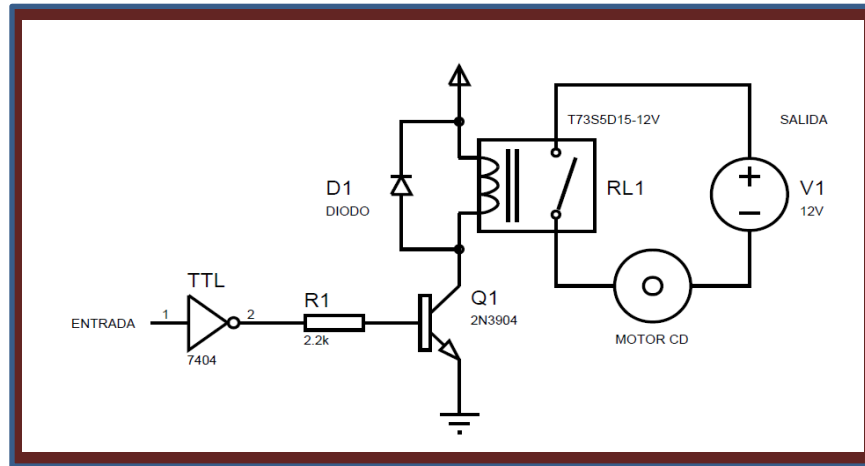


Figura 2.3. Uso de un relevador para aislar los circuitos de alto voltaje/corriente de los circuitos digitales y conexión de TTL o CMOS con un motor eléctrico.

En resumen, las características de voltaje y corriente de la mayoría de los zumbadores, relevadores, motores eléctricos y solenoides son significativamente distintas de las de los circuitos lógicos. La mayoría de estos dispositivos eléctricos necesitan circuitos de interface especiales para manejar y aislar los dispositivos de los circuitos lógicos [6].

Reguladores de voltaje

El regulador de voltaje fijo cuenta con un voltaje dc de entrada no regulado V_{in} aplicado a una terminal de entrada, un voltaje dc de salida V_{out} en una segunda terminal y la tercera terminal conectada a tierra. Para un regulador seleccionado, las especificaciones del dispositivo de CI listan un rango de voltajes sobre el cual puede variar el voltaje de entrada para mantener un voltaje de salida regulado sobre un rango de corriente de carga. Las especificaciones también listan la cantidad de cambio de voltaje de salida que resulta debido a un cambio en la corriente de carga (regulación de carga) o en el voltaje de entrada (regulación de línea).

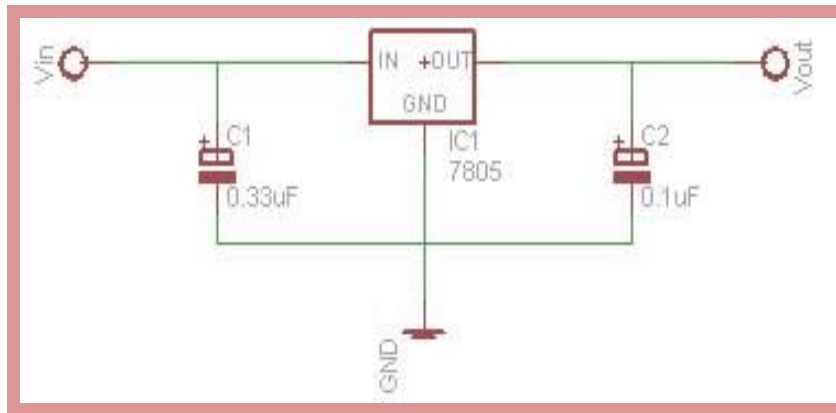


Figura 2.4. Representación de un regulador de voltaje de tres terminales, entre las terminales C2 es conectada la carga.

Los reguladores de la serie 78 ofrecen voltajes fijos regulados que van de los 5 a 24[V]. La figura muestra la conexión de uno de estos CIs, el 7805, se conecta para proporcionar un voltaje regulado de salida de +5[V] DC. El voltaje de entrada no regulado V_{in} es filtrado por el capacitor C1 y conectado a la terminal IN (entrada) del CI. La terminal OUT (salida) del CI proporciona +5VDC regulados, los cuales son filtrados por el capacitor C2 (principalmente para cualquier ruido de alta frecuencia). La tercera terminal del CI se conecta a tierra (GND). Mientras que el voltaje de entrada varíe dentro de un rango permitido de voltaje y la carga de salida varíe dentro de un rango aceptable, el voltaje de salida permanecerá constante dentro de los límites especificados de variación de voltaje. Estos límites se detallan en las hojas de especificaciones de los fabricantes [7].

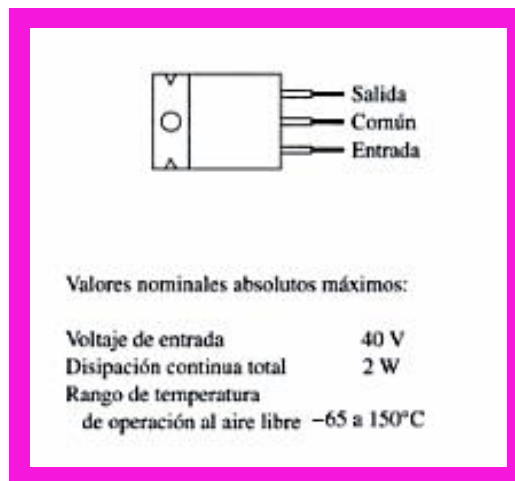


Figura 2.5. Algunos parámetros de operación del regulador 78XX.



Características del módulo transmisor

Integrado HT12E

Los integrados HT12E son una serie de CMOS para aplicaciones de sistemas de control remoto. Son capaces de codificar la información consistente en N bits de dirección (8 bits de dirección) y $12 - N$ bits de datos (4 bits de datos). Cada entrada de dirección/dato puede ser colocada en dos estados lógicos. Las entradas de datos/direcciones programadas son transmitidas junto con los bits de cabecera via un medio de transmisión RF sobre la recepción de una señal de disparo. La capacidad de seleccionar la habilitación (transmisión enable) en estado activo bajo, mejora la flexibilidad del codificador.

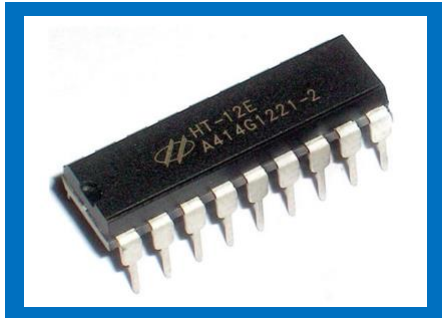


Figura 2.6. Integrado HT12E.

Tabla de Selección

Los pines que permiten la operación del integrado se muestran en la siguiente tabla, el integrado HT12E no provee una portadora de 38KHz para medios de transmisión infrarroja como el HT12A.

Function Part No.	Address No.	Address/ Data No.	Data No.	Oscillator	Trigger	Carrier Output	Negative Polarity	Package
HT12E	8	4	0	RC oscillator	\overline{TE}	No	No	18DIP, 20SOP

Note: Address/Data represents pins that can be either address or data according to the application requirement.

Figura 2.7. Tabla de selección.

La hoja de datos del integrado nos da un ejemplo del circuito transmisor y con la ayuda de la gráfica se obtiene la R_{osc} que necesita el codificador.

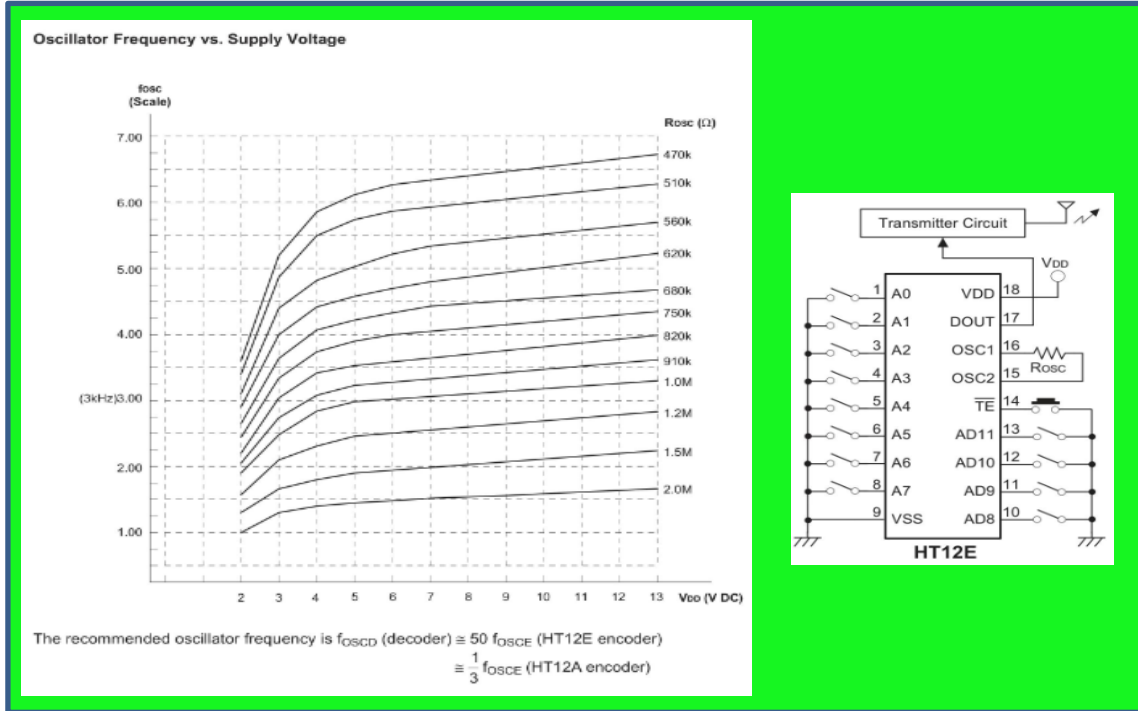


Figura 2.8. Gráfica de frecuencia del oscilador vs suministro de voltaje del HT12E y un ejemplo de arreglo del mismo.

Desarrollo del sistema transmisor

Se tomó en cuenta lo siguiente para la transmisión de datos:

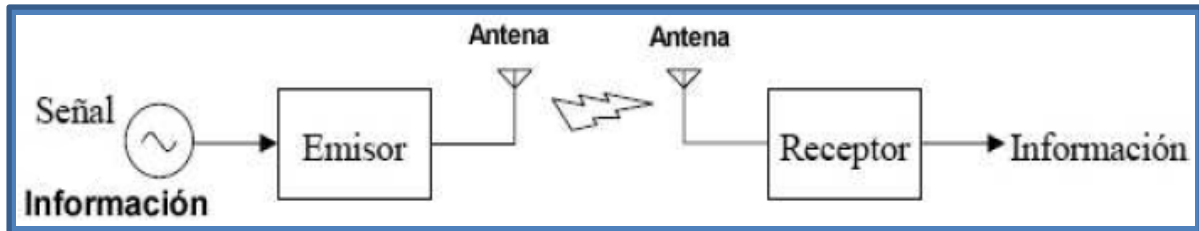


Figura 2.9. Transmisión de datos.

A partir de esto se diseñó la electrónica para el emisor y el receptor.

El emisor es un control remoto y necesitamos que al presionar un botón este mande información al receptor, pero para esto utilizamos un circuito codificador el cual al ingresarle una señal este la codifica en un código binario que puede utilizar el módulo de radiofrecuencia para el envío de datos a través de la antena.

Primeramente se calculó la R_{osc} , de acuerdo a la gráfica:

$$\text{Si } V_{DD}=12\text{V y } f_{osc}=3\text{kHz} \longrightarrow R_{osc}=1\text{M}\Omega$$

Y con ello realizamos el diagrama lógico:

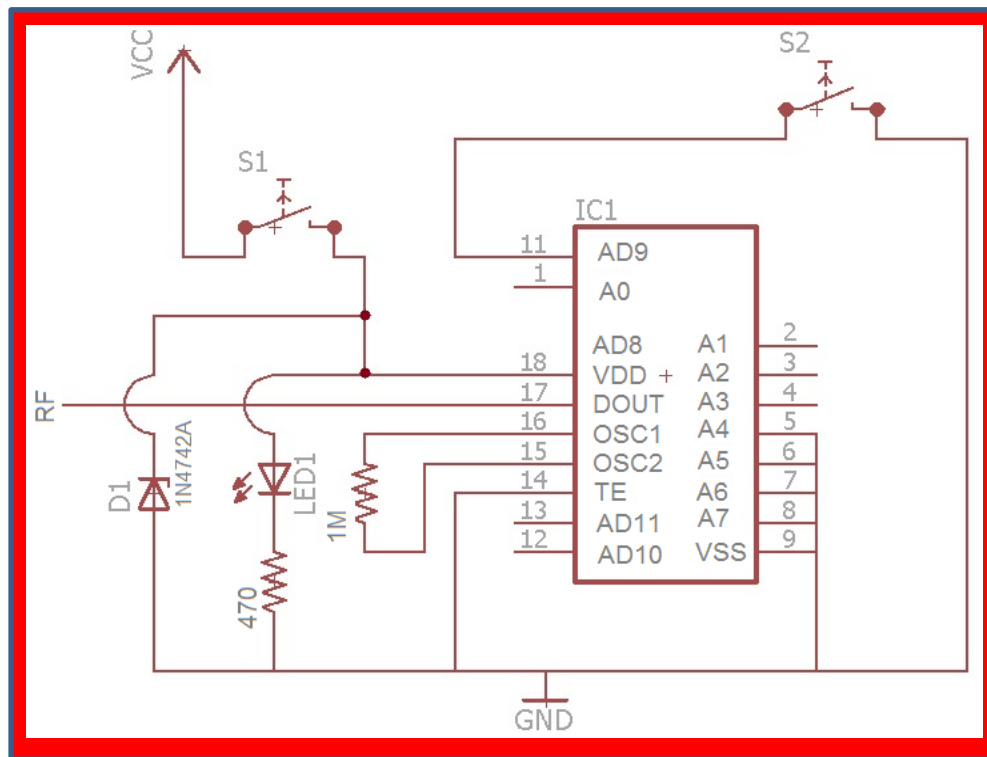


Figura 2.10. Diagrama del circuito emisor.

Las pruebas de operativas del circuito transmisor fueron desarrolladas en una primera etapa en protoboard. Ello nos permitió definir entre otros factores, el alcance de la transmisión del sistema, el consumo del sistema para el estado de inhabilitación del integrado. La susceptibilidad del circuito al rebote debido al interruptor mecánico de botón, el incremento de temperatura en el integrado, la potencia y comportamiento del circuito ante diferentes fuentes de alimentación y las dimensiones aproximadas para la placa del control.

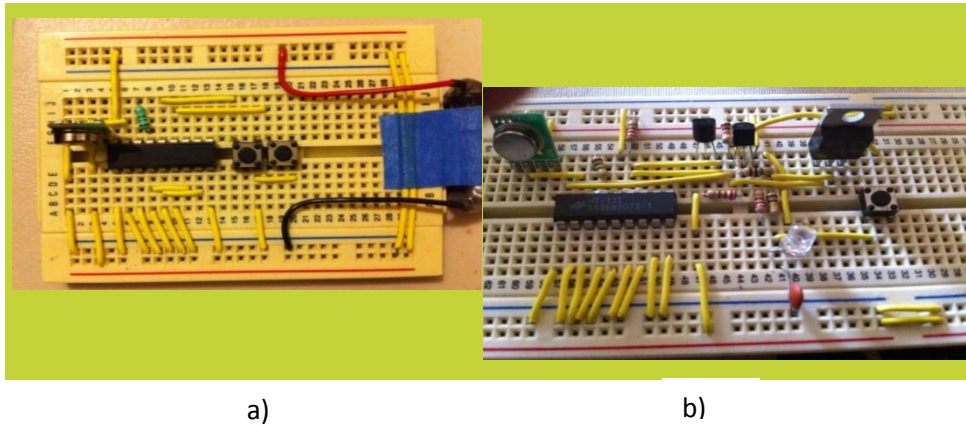


Figura 2.11. a) Armado y cableado inicial del circuito transmisor. b) Segunda iteración, prototipo de pruebas finales.

El modelo de la placa receptora desarrollado en PROTEUS, consideró la inclusión del circuito integrado emisor HT12E, dicho circuito de la placa se diseñó después de un análisis del uso de la tecnología de montaje superficial, en un principio se contempló esta característica como fundamental para que ambos prototipos físicos tanto el electrónico como el mecánico tuvieran concordancia respetando las dimensiones que debían ser precisas en el ensamble, posteriormente la placa se rediseñó considerando la mayor fiabilidad del codificador CMOS.

Requerimientos y diseño electrónico

Dentro del diseño electrónico se consideró que los usuarios del control pudieran operarlo de una forma sencilla, la opción más factible en estos términos era la de un control ON-OFF con un solo botón. Se realizaron las pruebas experimentales de desempeño del sistema bajo esta configuración, sin embargo, la inclusión de un conjunto de transistores para cumplir con dicho criterio excedía el tamaño propuesto para la placa incrementando así mismo el costo de producción, la variabilidad de los precios de la electrónica, así como su disponibilidad fue otro factor que dirigió al equipo de trabajo a considerar una opción que pudiera resolver los siguientes requerimientos:

- Bajo o nulo consumo de potencia en estado estacionario.
- Impedir que la operación errónea por parte del usuario causara daño permanente.
- Que el usuario pudiera tener conocimiento del estado de la batería en caso de requerir un reemplazo y descartar de esta manera cualquier otro tipo de falla.
- Alcance de radiofrecuencia en un radio superior a los 150m.

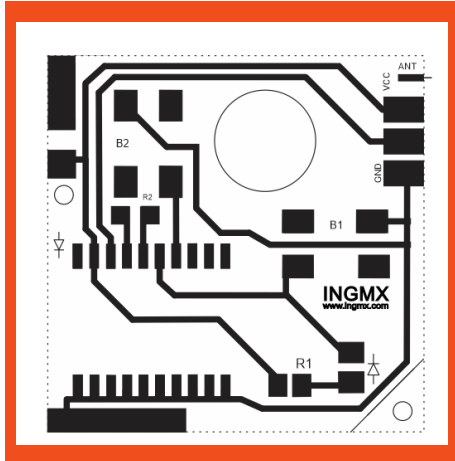


Figura 2.12. Diseño e iteración inicial SMD para la placa transmisora con HT12E.

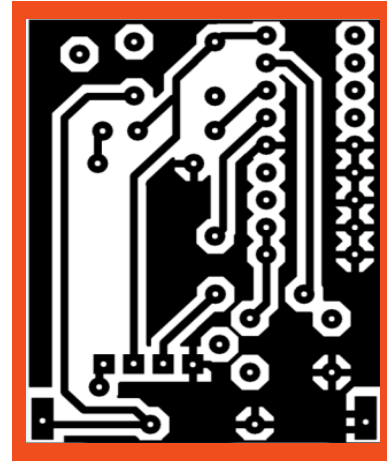


Figura 2.13. Diseño final THT para la placa transmisora con HT12E.

Para cumplir con el propósito especificado (en el cual solo se habían considerado elementos pasivos como resistores para llevar a cabo las funciones) se determinó que el modelo de la *figura 2.13* era el más factible en términos de funcionalidad, diseño y economía, quedando establecido de la siguiente forma su operación por parte del usuario:

- **Para activar la alarma** – Que el usuario debiera presionar uno sólo de los botones (botón superior, permaneciendo la alarma activa hasta la desactivación).
- **Para desactivar la alarma** – Que el usuario mantuviera presionado el botón inferior y sin dejar de presionarlo después presione el botón superior.

Consumo de corriente en estado estacionario

El sistema de la placa receptora no podía contener un interruptor de encendido para evitar el consumo de la batería, esta restricción estuvo basada en el hecho de que el producto fue diseñado para responder ante una emergencia, de modo que el usuario pudiera activar la alarma de una forma instantánea al presionar un solo botón. Para solucionar el problema de consumo de corriente del sistema, se analizó la operación del circuito HT12E, dentro de sus especificaciones encontramos la de baja corriente en standby de 0.1 [µA]. Por medio de la inhabilitación del integrado se respetó el requerimiento de extensión de la vida útil de la batería con disminución de su consumo de corriente, de forma que el suministro ocurriera sólo durante la operación de envío de señal a la tarjeta receptora.



Disposición de la batería

Teniendo en cuenta que el control inalámbrico emplea una batería de 12V. La colocación correcta de la batería en la carcasa plástica debía permitir que al invertir la polaridad no provocara daño permanente en los componentes del circuito electrónico, para lo cual se colocó un diodo que evitara el flujo de corriente como no está especificado en la operación de los componentes y la placa.



Figura 2.14. La batería alcalina empleada para proveer energía al sistema TX y el elemento radiante.

Comprobación de la carga de la batería

Se solicitó que el control inalámbrico tuviera indicador de carga, en este caso un led que al encender con la acción del botón de disparo registrara de este modo, cuando la batería se encontrara descargada (el led dejará de indicar la activación por carga insuficiente de la batería y por consiguiente ésta debería reemplazarse).

Codificación para el alcance de una frecuencia análoga

En su segunda iteración se consideró además de las condiciones anteriores que el circuito fuera de tipo 18 DIP para aumentar la fiabilidad y que pudiera ser codificado para que una frecuencia de 433 MHz sin codificar no pudiera activar la tarjeta de recepción.

Radio de alcance de la señal

Observamos algunas consideraciones en el diseño del circuito impreso con el fin de mejorar el alcance en el cual sin la inclusión de una antena apropiada era de apenas unos metros, en la fase de pruebas se incluyeron antenas diseñadas para operar en la banda de frecuencia de 433MHz así como antenas planares. Posteriormente se optó por una antena de un cuarto de onda, la cual mejoró notablemente el alcance, hasta alcanzar los 180 metros en línea de vista.

Manufactura de la placa transmisora

Diseño de PCB por medio de PROTEUS

En el proceso de manufactura se dieron varias etapas iterativas de diseño, desde el dimensionamiento de los componentes de forma física hasta el dimensionamiento de la placa en el receptáculo del control. Durante este proceso se consideraron varias alternativas de fabricación.

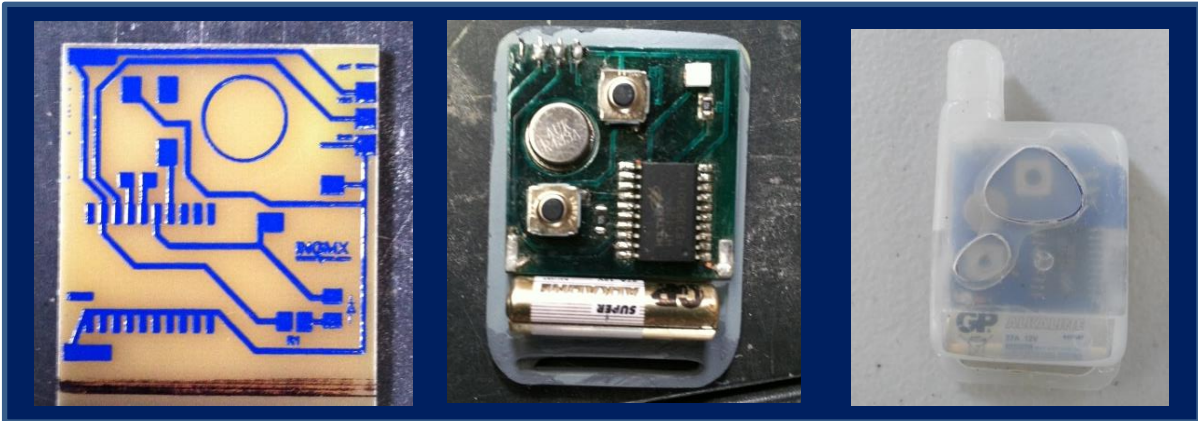


Figura 2.15. Diferentes fases en el proceso de manufactura de la placa: Diseño de la placa con serigrafía, placa con componentes y máscara antisolder, placa en carcasa plástica de polipropileno.

Mejoras posteriores y diseño final de la placa

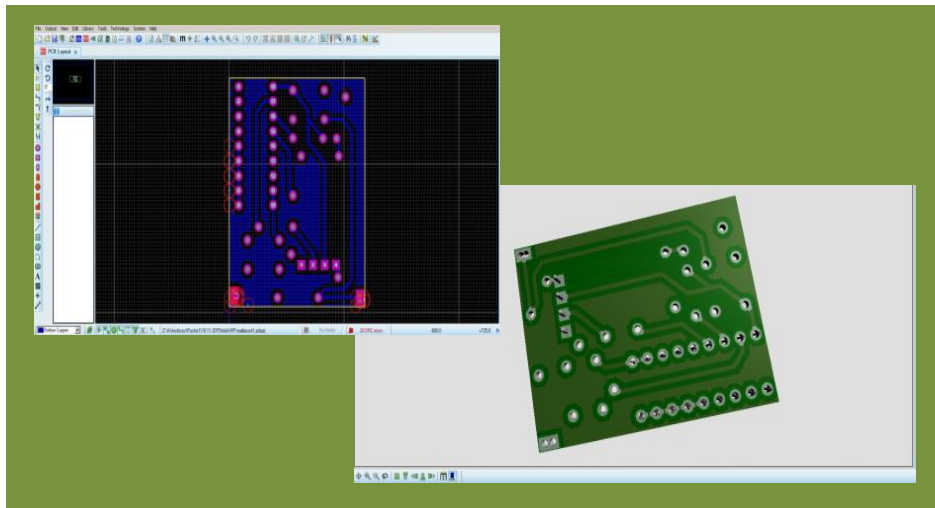


Figura 2.16. Diseño en PROTEUS de la placa emisora.



Figura 2.17. *Diseño final de la placa emisora. En este caso a la placa se le añadió un plano de tierra para disminuir la interferencia electromagnética, se retiró la máscara antisolder, los componentes ahora fueron de agujeros pasantes y diseño del control fue modificado.*

Diseño electrónico de la placa receptora RX

Los módulos receptores suelen ser circuitos regenerativos o super-regenerativos, con un detector de umbral basado en un comparador a la salida. El módulo empleado es un receptor sencillo, sin estabilización de frecuencia. Estos módulos disponen de un pin que entrega la salida de datos (la salida del comparador) y de dos pines de alimentación.

Un receptor de este tipo, en ausencia de señal, presenta ruido a la salida. En presencia de una portadora constante, la señal de salida indica el estado correspondiente (en general, un 1 lógico). En muchos casos, retorna otra vez al estado inactivo, debido a que estos módulos suelen ser diseñados para trabajar con señales que varían constantemente, y no para transmitir estados lógicos permanentes.

La codificación (para detectar una señal válida frente al ruido) usada suele mantener un tiempo de pulso constante, y emplea un ciclo de trabajo para un nivel lógico y uno diferente para el otro. Como vemos en la figura 19, es común aplicar la relación 1/3 para un estado y 2/3 para el otro. De este modo se puede recuperar la información, aún frente a modificaciones en el ancho de pulso, lo cual es frecuente en este tipo de receptores. Para recuperar la información codificada de esta manera,

podemos observar la duración del pulso y compararla con un tiempo preestablecido, u observar el estado en la mitad del tiempo de un bit.

Algunos módulos entregan también la salida analógica del receptor propiamente dicho, de forma que el usuario pueda discernir entre la señal y ruido, o proveer un mejor detector. El rango de frecuencias utilizado suele ser la banda de 433 [MHz] destinada a este tipo de usos sin requerir de una licencia para el uso del espectro.

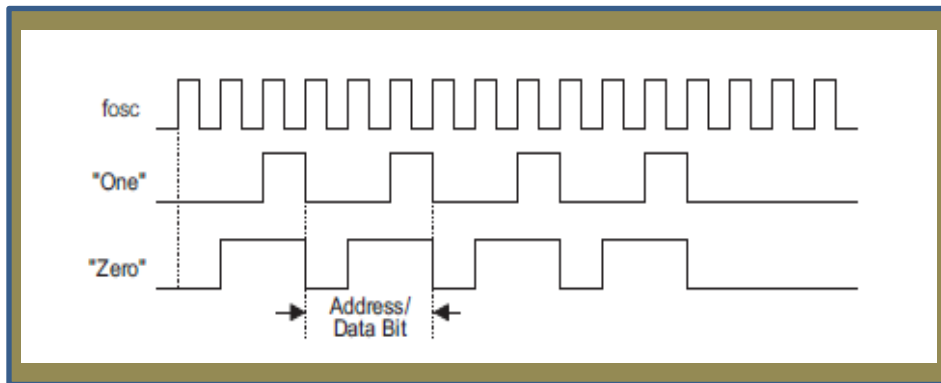


Figura 2.18. La codificación de unos y ceros en un HT12E, utilizado frecuentemente como transmisor de telecontrol.

En el diseño de la placa receptora se consideró que el sistema fuera capaz de recibir de forma segura la señal enviada por el sistema TX, para ello se definió que el módulo receptor no tuviera pérdida de potencia en la señal, éstas pueden ser inducidas por múltiples elementos como son conectores, en el caso de conexión de la antena al sistema, cable coaxial sin blindaje o no adecuado para la transmisión y la caída de voltaje por la resistencia implícita en largas extensiones de cable. Para la conexión de la placa se planteó el uso de cable coaxial RC-59, estándar para las señales como la especificada.

Características del Módulo Receptor

Integrado HT12D

Los decodificadores reciben direcciones seriales y datos de los codificadores que son transmitidas por una portadora usando un medio de transmisión RF. Los decodificadores comparan la entrada serial 3 veces continuamente con sus direcciones locales (estas fueron definidas en el diseño de la placa). Si no existe error o desajuste, los códigos de los datos son decodificados y transferidos a los

pinos de salida, el pin VT se va a un estado activo alto para indicar una transmisión válida.

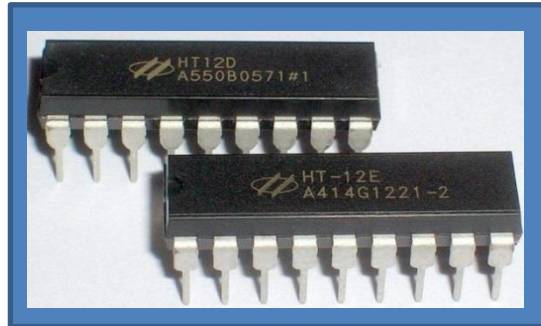


Figura 2.19. Codificador HT12E y decodificador HT12D.

Tabla de selección

Los pines que permiten la operación del integrado se muestran en la siguiente tabla, el integrado HT12D, los decodificadores son capaces de decodificar información consistente de N bits de dirección y $12 - N$ bits de datos. De igual forma que el codificador el HT12D está diseñado para proveer 8 bits de direcciones y 4 bits de datos.

Function Part No.	Address No.	Data		VT	Oscillator	Trigger	Package
		No.	Type				
HT12D	8	4	L	√	RC oscillator	DIN active "Hi"	18 DIP/20 SOP

Figura 2.20. Tabla de selección. DIN es la entrada de datos (DATA IN), habilitada en estado activo alto.

De igual forma que en el emisor la hoja de datos nos da un ejemplo del circuito receptor y con la f_{osc} (HT12E) se obtiene la R_{osc} del HT12D.

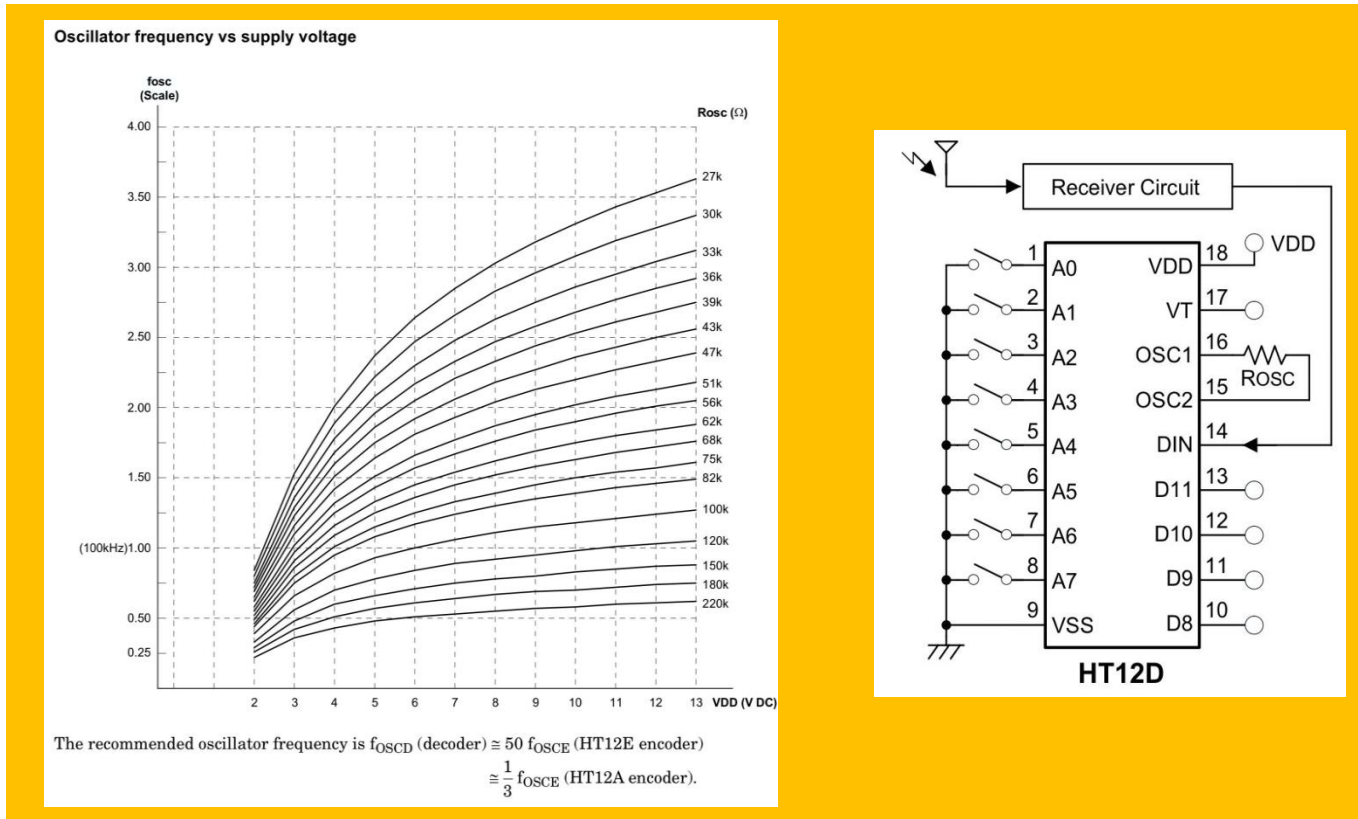


Figura 2.21. Gráfica de frecuencia del oscilador vs suministro de voltaje del HT12D y un ejemplo de arreglo del mismo.

Requerimientos y diseño electrónico

Dentro de la placa se especificó que el disparo de un usuario pudiera ser transparente en términos operativos, de esta manera se puede tener un mejor control con respecto al uso de la alarma, verificando que los usuarios estén haciendo uso adecuado de estas, para ello se instaló un led testigo de transmisión (VT). El módulo de recepción debe garantizar velocidad de respuesta sin retardo en la propagación.

En el diseño de la placa receptora de acuerdo al ejemplo del HT12D se necesita calcular la R_{osc} .

$$f_{OSCD}(\text{decoder}) = 50 f_{OSCE}(\text{HT12E}) \text{ encoder}$$

tenemos que: $f_{osc} \text{ HT12E} = 3\text{kHz} \longrightarrow R_{osc} = 150\text{kHz}$

con este dato de acuerdo a la gráfica obtenemos:

si $V=5\text{V}$ entonces $R_{osc} = 51\text{k}\Omega$.



A partir de esto se diseñó el diagrama lógico de la placa receptora:

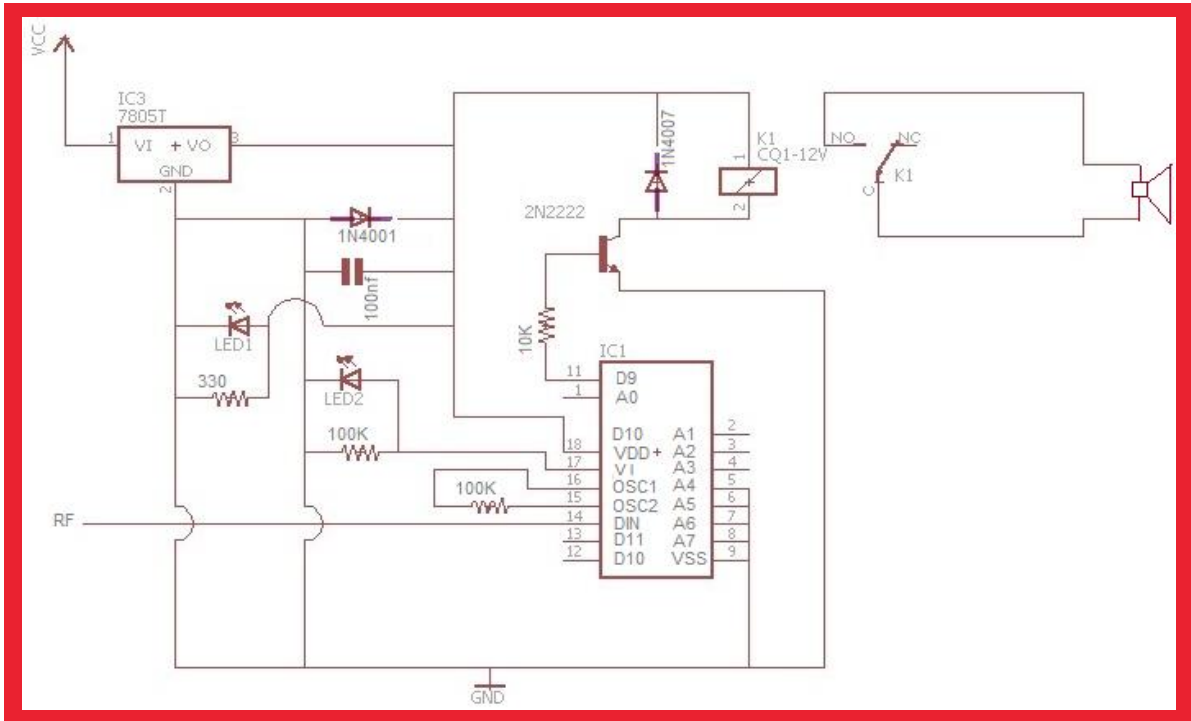


Figura 2.22. Diagrama del circuito receptor.

Aislamiento de circuito de potencia

En el diseño del circuito de la tarjeta receptora se colocó el diodo 1N4007 en paralelo con el relevador, el cual activa la sirena y el estrobo. Este diodo funciona como protección de la placa, ya que por parte del relevador puede existir un regreso de corriente que puede dañar al transistor 2N2222A y así afectar su funcionamiento.

Aislamiento de la línea

En este caso la placa receptora como protección contra la corriente alterna (AC) tiene un regulador de voltaje 7805, el cual regula el voltaje manteniéndolo en 5V, si llegase a existir variaciones en el voltaje en la línea. De esta forma se evita que el sistema se active solo.

Además se le agrego el diodo 1N4001 como rectificador y protección por regreso de corriente.



Codificación de la señal

Por medio de la codificación existente en la placa transmisora el circuito de recepción debería ser capaz de ser activado únicamente bajo ese criterio de diseño. Para ello se tiene un número importante de combinaciones en uno sólo de los canales de datos (2^8 posibles combinaciones).

Manufactura de la placa receptora

Para la manufactura de la placa receptora se consideraron varios procesos, iniciando por el dimensionamiento físico, pruebas experimentales con vinil de corte para aislar el cobre de la acción corrosiva del cloruro férrico sobre la placa fenólica, transferencia por medio de temperatura y serigrafía.

Diferentes fases en el proceso de manufactura de la placa de recepción: disposición física de componentes, corte de vinil para aislamiento de la placa al ataque químico e impresión de serigrafía sobre la placa fenólica.

Capacitores de acoplamiento

Los capacitores de acoplamiento se comportan como “circuitos abiertos” para el análisis en DC y como impedancias bajas en (esencialmente “cortos circuitos para señal”) en el análisis en AC. Estos fueron empleados en el diseño de la placa RX para tener un mejor desempeño global del sistema [2].

Diseño de PCB con PROTEUS

Durante la fase de diseño tuvimos varios procesos iterativos de generación de propuestas, corrección de fallas y mejora de la disposición en cuestiones de ensamble, dando por resultado un mejor desempeño del dispositivo en cada nueva etapa.

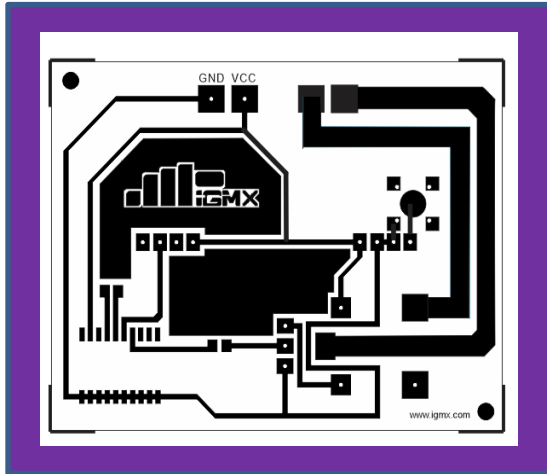


Figura 2.23. Diseño e iteración inicial para la placa receptora con decodificador HT12D (todos los pines de las direcciones locales aterrizados), en su segunda iteración el circuito contiene codificación de la señal.

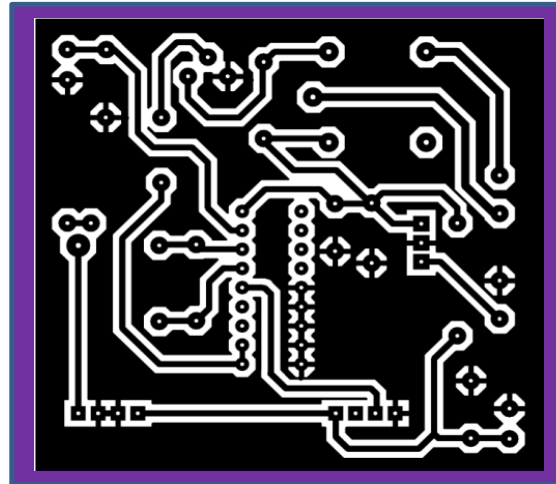


Figura 2.24. Diseño final de la placa receptora, se realizaron cambios en el decodificador HT12D.

Diseño final de la placa receptora

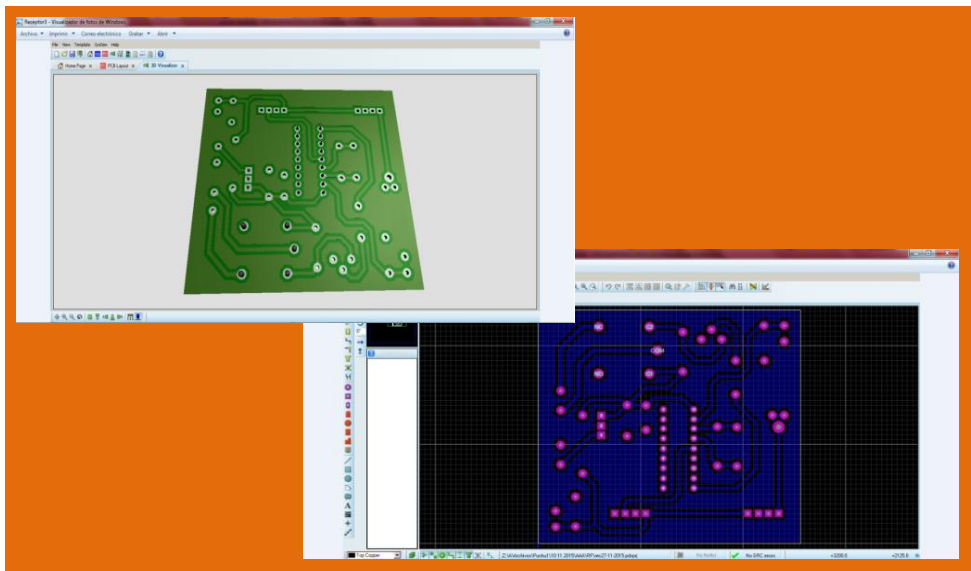


Figura 2.25. Diseño en ARES de la placa receptora con mayor plano de tierra.

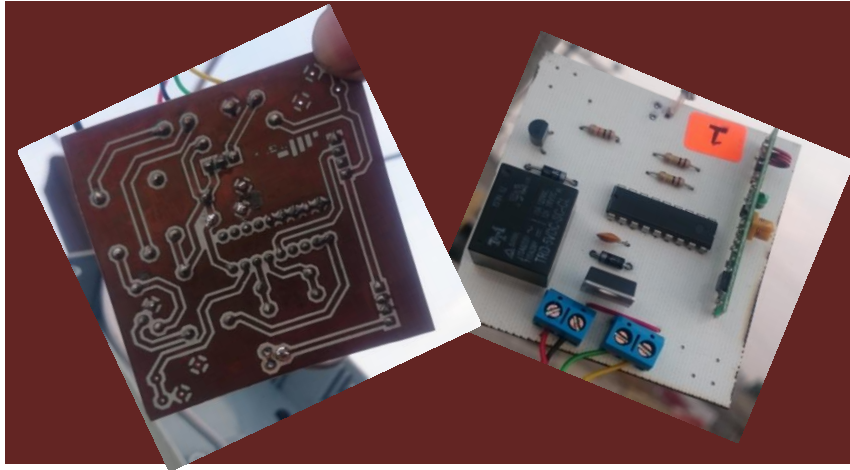


Figura 2.26. Diseño final de la placa receptora.

Diagrama de conexiones del sistema

El diagrama de conexiones del sistema fue acondicionado de forma que la unidad de radiofrecuencia compuesta por la placa receptora pudiera ser alimentada por medio del gabinete de potencia manteniendo aislado el circuito de potencia del sistema.

La instalación del sistema consiste en:

- Dentro de la casa un gabinete, el cual contiene la fuente de alimentación del estrobo, la sirena (12 V) y la placa receptora (5 V).
- En la fachada de la casa, a lo alto se coloca el estrobo y la sirena.
- En la azotea se coloca la antena junto con la placa receptora.

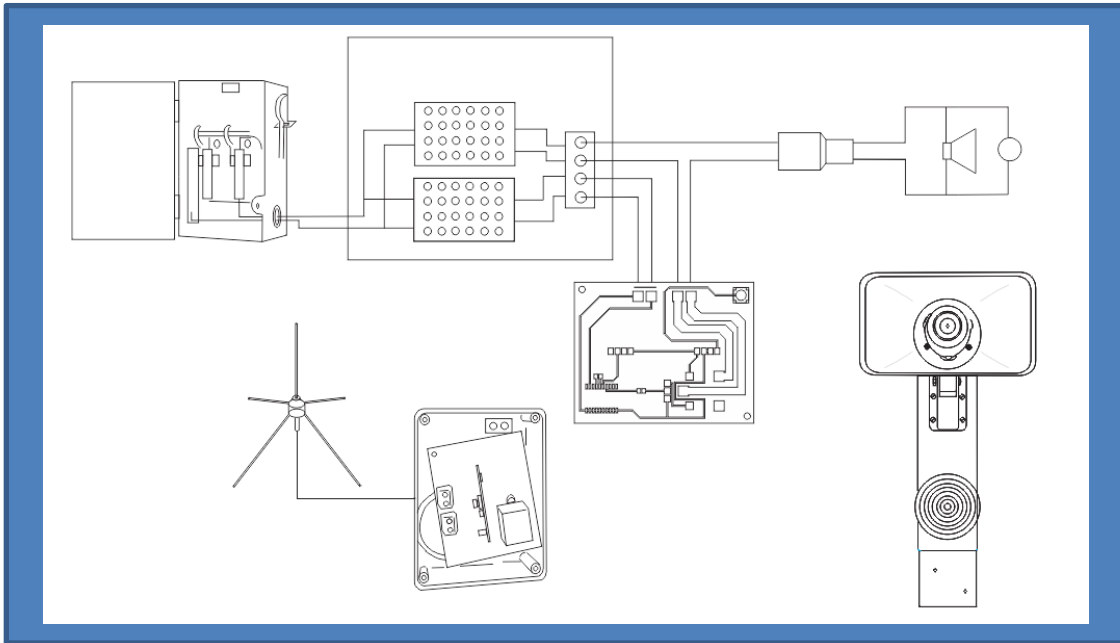


Figura 2.27. Esquema de conexiones del sistema en su fase inicial, los diferentes sistemas están conectados por medio del gabinete de potencia y alimentados por dos fuentes.





Capítulo III

Diseño y Manufactura de Antenas

Principios básicos de antenas

Una antena en principio puede ser cualquier conductor de dimensiones comparables a la longitud de onda de cierta señal. La teoría de antenas trata de obtener las mejores características de radiación de estos dispositivos, para ello debe optimizar la geometría, dimensiones y propiedades dieléctricas de la estructura radiante.

Las antenas son elementos capaces de radiar e interceptar ondas de radio. La radiación y la recepción de ondas de radio son más efectivas cuando la antena está en resonancia. Varias configuraciones de resonancia pueden ser logradas por las antenas con dimensiones de $\frac{1}{4}$ y de $\frac{1}{2}$ de longitud de onda o múltiplos de ella. Es más importante para una antena transmisora estar en resonancia, que para una antena receptora, ya que el rendimiento del transmisor puede verse afectado fuertemente por una antena inadecuada.

Con frecuencia se considera a las antenas como transductores de la energía electromagnética a corriente eléctrica y viceversa. Pero cuál es el mecanismo de esta conversión de energía, lo que sucede es lo siguiente: la onda que viaja en el espacio se encuentra a su paso con el conductor de dimensión y dirección apropiada y resuena en el conductor, y al hacerlo queda atrapada produciendo una distribución de corriente en el conductor, corriente que puede ser recolectada en las terminales de la antena (de la misma manera que la onda sonora de cierta frecuencia produce vibraciones mecánicas en un diapasón) por supuesto que toda clase de señales llega a una antena receptora, pero solo aquellas cuya longitud de onda coincida con las dimensiones de la antena, la harán resonar así, a mayor frecuencia de señal, mayor cantidad de información, la cual puede enviarse por a) unidad de tiempo y b) porcentaje de ancho de banda. Por supuesto que mayores frecuencias demandaran de nuestro equipo de transmisión y recepción mayores velocidades de respuesta. Además, el diseño del equipo electrónico de recepción y transmisión tiene que adaptarse tanto a la frecuencia como a la técnica de modulación con que sea enviada la información [8].

Tipos y aplicaciones de antenas

La mayoría de las señales lanzadas al espacio con fines de comunicación son señales analógicas, algunas a pesar de ser portadoras de información digital. La razón se encuentra en que las señales digitales, con un espectro rico en frecuencias, se desvanecen fácilmente en la atmosfera; además se necesitarían antenas con anchos de banda muy grandes y transmisores generadores de impulsos de altas potencias, lo cual provocaría interferencia con otras bandas.

En el siguiente cuadro se muestra la asignación de espectro de frecuencias y tipos de antenas a los cuales corresponden más comúnmente las antenas de acuerdo a sus características.

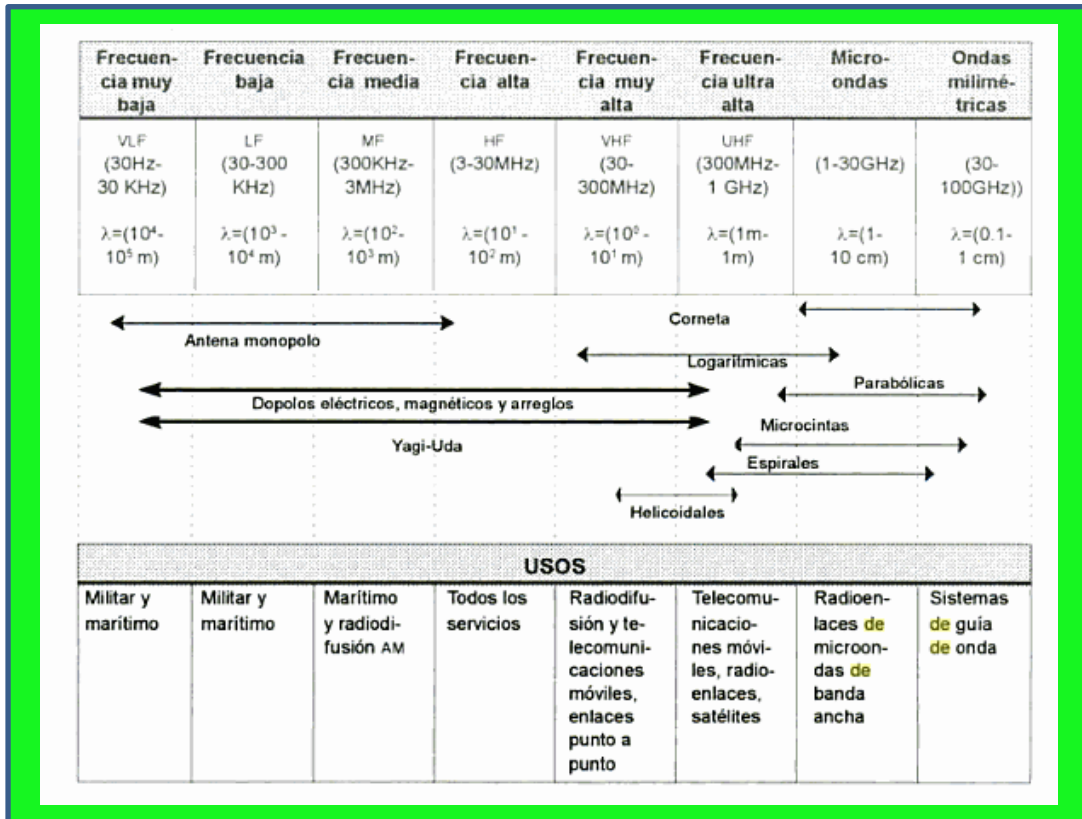


Figura 3.1. Aplicación de las antenas de acuerdo con su uso y banda de frecuencia.



Parámetros importantes de antenas

Objetivo: Definir parámetros importantes que determinan el desempeño radiante de las antenas, introducir la descripción de parámetros como ganancia, polarización, directividad, SWR, coeficiente de reflexión. En este apartado se definirán de forma breve los parámetros más importantes para el desempeño de un sistema radiante.

Polarización

La polarización de una onda es la orientación de su vector de campo eléctrico, el campo eléctrico que establece la polaridad de la antena es una función de la geometría del elemento radiante, si el elemento es vertical, entonces la polaridad de la antena es también vertical. La señal se propaga fuera del radiador en todas las direcciones del azimut haciendo de esta antena un radiador omnidireccional. La polaridad está relacionada con la forma en que se colocan las antenas.

Impedancia de entrada

Es la relación entre el voltaje y la corriente de entrada $Z=V/I$. La impedancia es un número complejo. La parte real de la impedancia se denomina Resistencia de antena, la parte imaginaria Reactancia. La parte real es la suma de la resistencia de radiación más la resistencia de pérdidas.

VSWR Voltage Standing Wave Ratio

Es una medida de la desviación del sistema radiante causada por jumpers, feeders y conectores. Este parámetro es usado para detectar la onda reflejada por el sistema cuando un sistema de transmisión esta desajustado $SWR > 1:1$, su impedancia de entrada se desvía de su impedancia característica.

Cuando la impedancia del cable que va del transmisor a la antena está desajustada aparece dicho parámetro de relación de ondas estacionarias. Este desajuste o desacople produce una potencia reflejada. Para saber si nuestro transmisor tiene esta potencia indeseada se usa un vatímetro. Es un medidor que permite conocer tanto la potencia directa como la reflejada. Esta falta de acoplamiento entre el transmisor y la antena provoca que el SWR pueda agravarse, por factores haciendo que aumente la potencia reflejada:

- Una mala medición de las antenas, más largas o más cortas de lo que corresponde.
- Un cable de impedancia que no corresponde al transmisor, por ejemplo, usar cable de 75[Ω]

para equipos de radio.



Figura 3.2. Vatímetro para medir tanto la potencia directa como la reflejada.

Cortesía de Vaughan Weather - TS Enterprise Services.

Directividad

Indica la zona o zonas donde la antena irradia la potencia. La dirección de las antenas se observa en los patrones de directividad. La antena omnidireccional irradia uniformemente en todas las direcciones. La antena direccional tendrá una potencia que será disipada en la dirección en la que haya sido orientada la antena, se emplean en transmisiones de alta frecuencia.

Ganancia

En las antenas omnidireccionales la potencia se reparte en todas las direcciones y es recibida con menor intensidad que cuando es concentrada. Las antenas direccionales al no dispersar la señal, tienen ganancia. Estas aumentan la potencia que reciben del transmisor. La ganancia se expresa en decibeles.

Planos horizontal y vertical

El lóbulo principal define los ángulos de media potencia y de máxima ganancia. El análisis correcto de una antena necesita de dos planos, vertical o plano E y horizontal o plano H.

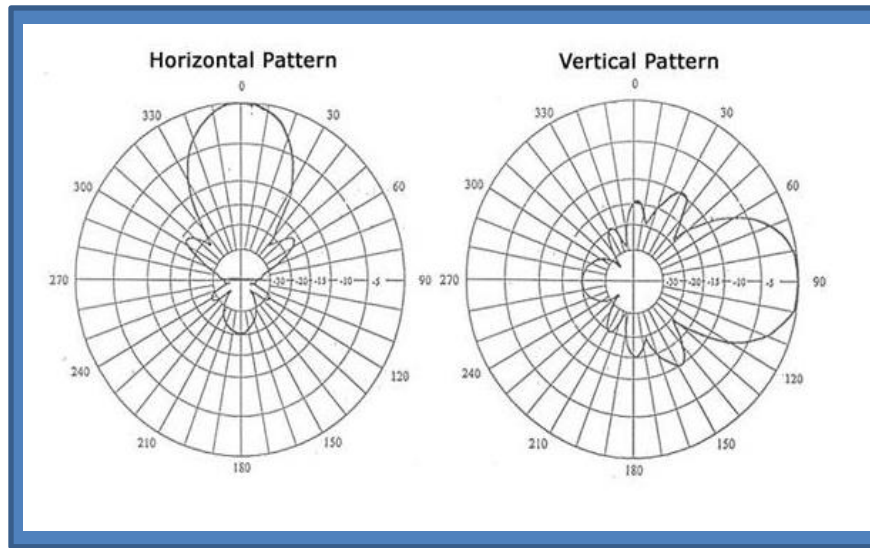


Figura 3.3. Planos horizontal y vertical en los cuales se aprecia el lóbulo principal de radiación de una antena.

Software para el modelado y diseño de antenas

El modelado electromagnético es el proceso de modelar la interacción de los campos electromagnéticos con objetos físicos del entorno, usualmente involucra el uso de aproximaciones computacionales a las ecuaciones de Maxwell y es usado para calcular el desempeño de antenas, compatibilidad electromagnética y propagación de onda electromagnética cuando no se encuentra en un espacio abierto.

Una parte específica del electromagnetismo computacional se ocupa de la radiación electromagnética dispersada y absorbida por las partículas pequeñas.

Varios problemas electromagnéticos en el mundo real como la dispersión electromagnética, modelización de guías de onda, etc., no son analíticamente calculables, por la multitud de geometrías irregulares que se encuentran en dispositivos reales. Métodos numéricos computacionales pueden superar la incapacidad de obtener soluciones en forma cerrada a las ecuaciones de Maxwell en diversas relaciones constitutivas del entorno y las condiciones de frontera. Esto hace que el electromagnetismo computacional (CEM) sea importante para el diseño y modelado de antenas, radar, satélite y otros sistemas de comunicación.

CEM normalmente resuelve el problema de calcular el campo eléctrico E y el campo magnético en todo el dominio del problema (por ejemplo, para calcular el patrón de radiación de la antena para una



estructura de antena de forma arbitraria). Calcular también la dirección del flujo de potencia (vector de Poynting), los modos normales de una guía de onda, la dispersión de la onda generada por el medio pueden ser calculados a partir de los campos E y H.

Los modelos CEM hacen uso extensivo de la simetría y resuelven para reducir la dimensionalidad de 3D a 2D e incluso 1D.

La respuesta transitoria y efectos de campo de impulso se modelan con mayor precisión por el CEM en el dominio del tiempo, por FDTD. Objetos geométricos curvos son tratados con mayor precisión como elementos finitos FEM.

Para la correcta definición de parámetros de la antena por calcular existen varios programas de diseño de antenas, tales como Ansoft HFSS, ZELAND IE3D, FEKO and CST. Dichos programas están basados en análisis de FDTD, análisis de elemento finito, ambas técnicas son ajustables para elementos pequeños o de tamaño moderado en comparación con la longitud de onda.

Simulación de antenas con FEKO

FEKO es una herramienta de software de simulación electromagnética integral para el análisis de campo electromagnético de estructuras 3D. El software ofrece múltiples métodos numéricos para la solución de las ecuaciones de Maxwell, permitiendo a los usuarios resolver una amplia gama de problemas electromagnéticos que se encuentran en diferentes industrias.

Antena helicoidal Tx

En la mayoría de los casos la antena helicoidal está montada en un plano de tierra, el diámetro típico del plano de tierra debe ser de al menos $\frac{3}{4} \lambda$. La configuración geométrica de la hélice consiste usualmente de N vueltas, diámetro D, y espaciamiento S, entre dos cualesquiera vueltas adyacentes.

Las características de radiación de la antena pueden ser modificadas al controlar las dimensiones de sus propiedades geométricas comparado con su longitud de onda. Su polarización general es elíptica pero las polaridades circular y lineal pueden ser alcanzadas sobre diferentes rangos de frecuencia.

La antena helicoidal puede operar en varios modos, los principales son el normal y el axial, el modo normal tiene su máximo en un plano normal al eje de la hélice y es cercano a cero a lo largo del eje.

El modo práctico de operación de la antena helicoidal es el axial, en este modo sólo un lóbulo mayor es generado y en la dirección del eje, para lograr esto el diámetro y espaciado deben ser grandes en relación con la longitud de onda. Para alcanzar el modo normal de operación, las dimensiones de la hélice son usualmente pequeñas comparadas con la longitud de onda.

Las antenas helicoidales son un tipo de antena cuyo radio de ancho de banda teórico es aproximadamente 1.78 (una antena es definida convencionalmente como tipo ancho de banda o wideband cuando el radio de ancho de banda excede a 2, de modo que la antena helicoidal está cercana a ser ancho de banda). Es también una estructura alámbrica, pero a diferencia de la mayoría de las antenas cuya operación se basa en una onda estacionaria en una parte de la estructura, esta es una antena de onda viajera, al menos en su modo axial de operación. La circunferencia de la antena es elegida de forma que las corrientes en lados opuestos de la antena (la cual radiará campos fuera de fase debido al devanado de la hélice, si la corriente estuviera en fase) son retardados por una media onda, de forma que la radiación resultante está ahora en fase de nueva cuenta contra a lo largo del eje de la hélice (y de ahí el nombre, modo axial). La radiación es polarizada circularmente, en el sentido del devanado (por ejemplo una hélice manufacturada en el sentido de la mano derecha/izquierda genera una polarización de mano derecha/izquierda). Comparado con otros modos, el modo axial es bastante compacto – la estructura helicoidal permite que gran parte del alambre pueda ser contenido en un moderado volumen y el diseño es muy popular en la banda UHF, especialmente para comunicación satelital (una estructura cercana relacionada, nombrada como hélice en modo normal, es muy popular para los teléfonos móviles. Radia casi isotrópicamente.)

Diseño y Simulación de la Antena helicoidal en configuración axial

FEKO provee una tarjeta HE, la cual simplifica en gran medida la creación de la hélice. Todo lo que es requerido además de esta tarjeta es añadir un pequeño segmento debajo de la hélice para alimentación y añadir un plano de tierra de algún tipo por abajo. Un plano de tierra de aproximadamente 0.75λ de cada lado es usualmente adecuado.

Para crear un plano de tierra, puede usarse una malla de alambres. FEKO soporta la creación y mallado de superficies. Un método simple de definición de superficies es usar una tarjeta de paralelogramo BP. Esta superficie es posteriormente mallada usando triángulos [8].

Para simular una antena helicoidal en FEKO, establecemos el problema de simulación en el entorno de desarrollo CADFEKO. El diseño de la antena helicoidal en el software es relativamente sencillo, dado que la generación de la hélice está directamente disponible en la pestaña “crear arco”. La hélice es creada por defecto con igual radio para todas las vueltas.

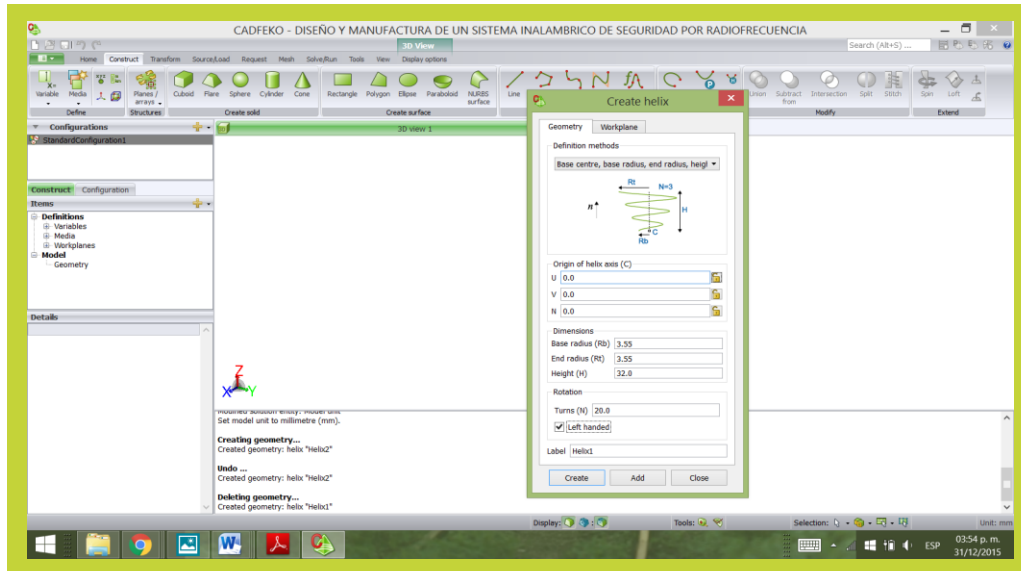


Figura 3.4. Inclusión de parámetros para la generación de la antena helicoidal en el software de diseño.

Como revisamos anteriormente el modo práctico de uso de la antena helicoidal es el axial. Para el estudio experimental del desempeño de la antena helicoidal se considerará, una hélice de 43 vueltas con una longitud total de 1.61λ , diseñada para operar en la banda de frecuencia de 433 [MHz] el radio de la hélice ha sido establecido en $\lambda/2\pi$ y el diámetro del plano de tierra en 0.6λ .

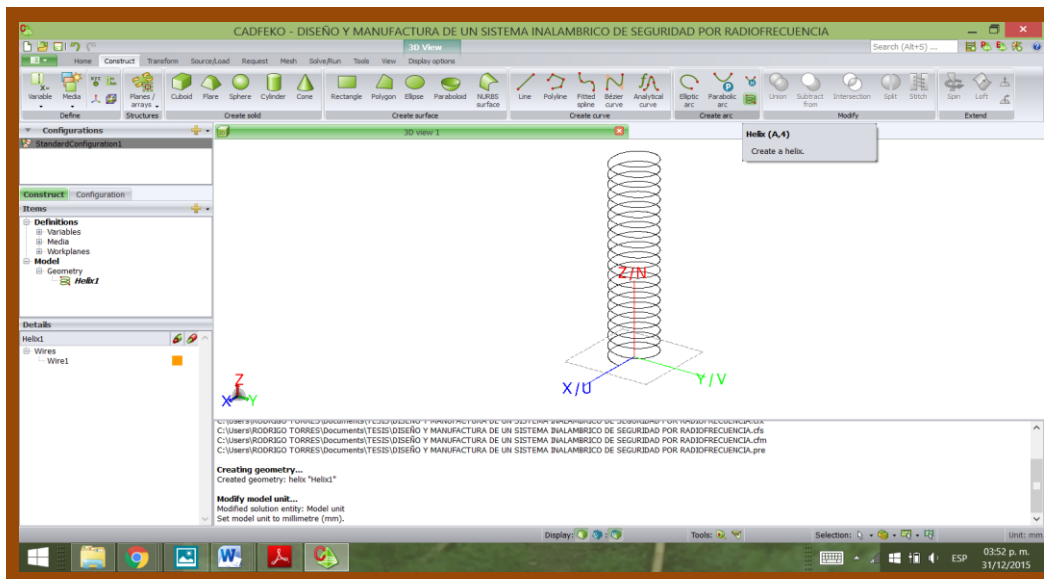


Figura 3.5 Modelo básico de la antena UHF helicoidal en configuración normal creada en FEKO.



Antena dipolo UHF $\frac{1}{4}$ de onda con plano de tierra artificial (Rx)

La antena cuarto de onda vertical es básicamente medio dipolo colocado verticalmente, con la otra mitad del dipolo como tierra, la figura 3.6 muestra la geometría básica de una antena vertical: un generador RF en la base de un radiador de longitud L , así como la distribución de corriente y voltaje para una antena vertical. Para la antena vertical de cuarto de onda, la impedancia del punto de alimentación está al mínimo, como resultado la corriente es máxima y el voltaje mínimo en el punto de alimentación, de modo que la impedancia está en su punto mínimo (típicamente de $2[\Omega]$ a $37[\Omega]$ dependiendo del diseño).

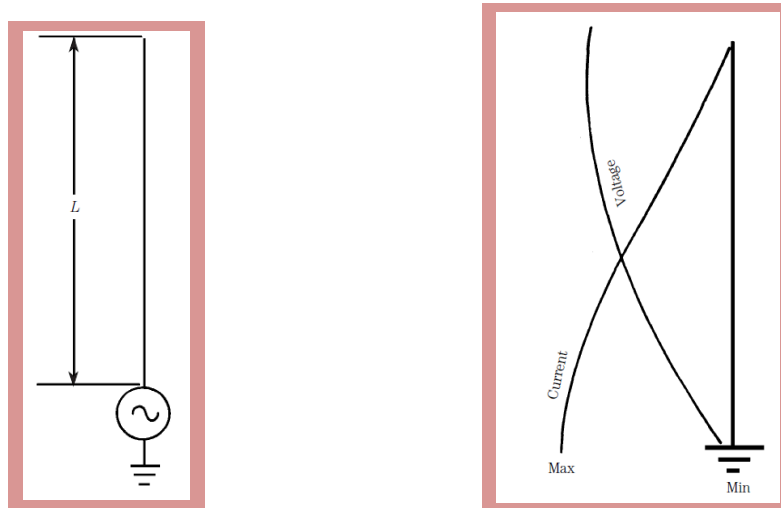


Figura 3.6. Elementos básicos de una antena vertical. Distribución de corriente y voltaje a lo largo de la vertical.

La figura 3.6 muestra la antena montada a tierra, el elemento radiante está montado a nivel de tierra, pero está aislado de ella, dado que es una antena cuarto de onda. El conductor interno del cable coaxial está conectado al elemento radiante y el blindaje del cable coaxial está conectado a tierra.

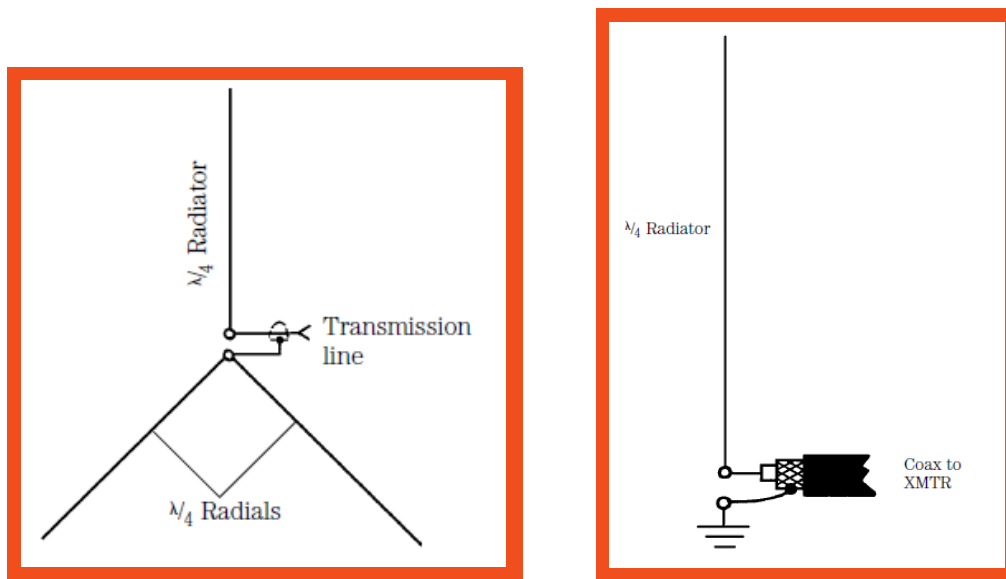


Figura 3.7. Mástil vertical montado, utiliza radiales como tierra de contrapeso. Antena vertical alimentada por cable coaxial. Usualmente existe un leve desajuste que se encuentra dentro de los límites tolerables.

El sistema de tierra de la antena vertical es crítico para su desempeño. Normalmente la impedancia en el punto de alimentación no es $52[\Omega]$ sino $37[\Omega]$, como resultado de variación en la medida de la desviación del sistema radiante. El VSWR puede ser medido usando un circuito con puente de impedancia. El puente está balanceado cuando el test de impedancia de referencia se ajusta exactamente a la impedancia de referencia, cuando una línea de transmisión está desajustada ($SWR > 1:1$) su impedancia de entrada está desviada de su impedancia característica.

Cálculo básico de la antena $\frac{1}{4}$ de onda

En el análisis y diseño de antenas se deben considerar parámetros funcionales, fundamentalmente establecemos el parámetro de longitud.

Para el cálculo de la longitud de la antena se empleó la siguiente expresión:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{v}{\lambda}$$

Donde v es la velocidad de la luz en el vacío 3×10^8 [m/s].

Donde λ es la longitud de onda y f es la frecuencia en Hz.

Quedando como resultado la longitud de onda de 0.69 [m] y por ser cuarto de onda 0.17 [m].



Diseño y Manufactura de la antena.

Para el diseño de la antena se consideraron los factores mencionados anteriormente.

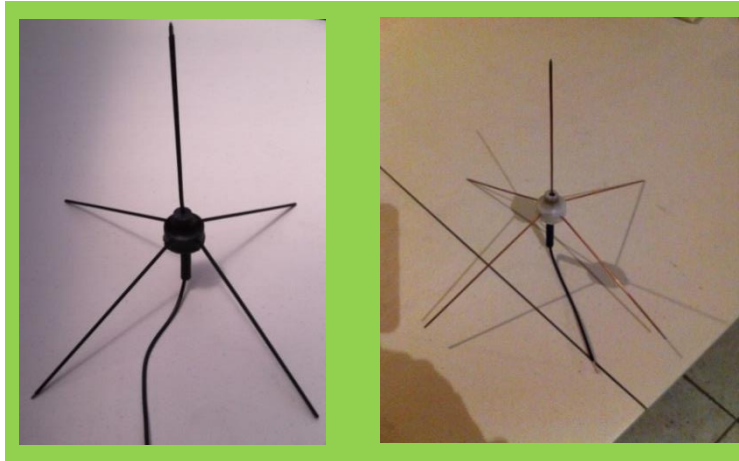


Figura 3.8. Diseño de la antena con plano de tierra, diseñada con alambre de cobre de calibre 24 AWG y cable coaxial blindado para su conexión a la tarjeta receptora.





Capítulo IV

Diseño y Prototipo de la Carcasa del Emisor

Modelo físico en masilla epóxica y gel coat

Para realizar, lo que comprende el dispositivo Rx que tendrá que mandar la señal a un Dx y poder activar estas alarmas, nos abocamos hacer el modelo físico con una masilla epóxica de dos componentes, la cual al mezclarse nos dará las propiedades necesarias para modelar un tocho de este material con la finalidad de ir modelando la pieza que idealizamos, para obtener un modelo físico previo al modelo principal, que nos permita ir cambiando algunas características en cuanto a su forma.

Las propiedades de este material lo podemos apreciar en la ficha técnica que nos proporciona el fabricante y la cual ponemos en el anexo de esta tesis.



Figura 4.1. Se puede apreciar el estado físico del material antes de ser mezclado y en consecuencia después de la mezcla, su estado sólido que nos brinda la ventaja de realizar un tocho de esta masilla.

El modelo físico se tuvo que hacer de una forma artesanal y paulatinamente, se tomó la decisión de usar este material ya que este cuenta con las propiedades necesarias para un maquinado manual y brinda las características principales para un acabado base que nos permita obtener el de la muestra más fiable para presentar los componentes, además de esto se evaluó los costos del mismo por que no se contaban con los recursos necesarios para llevarlo a cabo en un CNC o alguna impresión en 3D, aparte de estas desventajas que nos enfrentamos no es posible limitarnos, y el equipo está más que consiente de los recursos con que se cuentan. A esto es mejor ver las ventajas de hacerlo de esta forma y una de ellas es ir visualizando a donde se pretende llegar, tomando en cuenta que el modelo del control Rx es una pieza fundamental en el sistema de radio frecuencia, y su importancia es imperante, porque este dispositivo estará en constante uso y será la imagen del sistema por que el usuario lo tendrá en todo momento en sus manos.



Figura 4.2. Se puede apreciar en la imagen que al ir maquinando el material se tiene que estar retirando el excedente para darle forma al modelo físico.

El material nos da la oportunidad de irle dando forma, al principio la idea que teníamos era de hacer una pieza que fuera lo más sencilla, pero elegante, esta idea se tomó después de que en el centro de maquinado CNC nos manifestaron que no se contaba con las fresas para hacer este tipo de trabajo, a pesar de no ser tan complejo es muy pequeño y eso dificulta su realización.



Figura 4.3. Se puede apreciar el tamaño y la disposición de algunos componentes que alojara en su interior el modelo físico.

Tomando en cuenta que este modelo del control no es el final, es la base para ir dando forma e ir integrando todos los componentes que van a estar disponibles en su interior.

La forma del control tiene la finalidad de ser ergonómico, contar con una disposición del tamaño y cubrir algunos otros aspectos como es el evitar en su superficie cualquier tipo de corrugado que pueda ser un cultivo bacterial, ya que el usuario manipulará el modelo Rx con sus manos y esta manipulación quizá sea constante.



Figura 4.4. Podemos apreciar un pre modelo físico con las características antes mencionadas.

Al realizar el modelo del control en masilla epóxica corríamos el riesgo de que este sufriera algún daño y con esto perder el diseño, con la finalidad de ir proporcionando los cambios necesarios a nuestro control tomamos la decisión de hacer algunas replicas y con estas seguir aplicando los cambios necesarios a nuestro modelo físico del control, se optó por un material llamado coat el cual cubre nuestras necesidades de modelado ya que a este material una vez seco se le puede ir desbastando y cambiar sus dimensiones, aunado a esto el material proporciona el brillo necesario al ser pulido.



Figura 4.5. Se aprecia algunas réplicas del modelo del control tomadas de un molde de silicón, el cual copia hasta el más mínimo detalle del original.

A estos controles se le fueron cambiando algunas dimensiones y aspectos en cuestión de la forma, la apariencia e incluso la disposición de que contaran con una antena, ya que en las pruebas de campo no nos proporcionaba el alcance de la señal que nosotros ya aviamos establecido, la cual es de una distancia de 200 m como mínimo, para esto se tuvo que analizar a conciencia de que forma tendría que ser la antena y que esta no rompiera con en diseño del dispositivo.

En el desarrollo del mismo probamos con varios tipos de antenas, probando diferentes diseños y tipos de estas, y solo una cubrió nuestra necesidad de alcance y disposición en un sistema tan pequeño y complejo, pero al colocar está en el dispositivo nos trajo ahora la necesidad de adaptar el diseño, al cual a este tuvimos que valorar algunos aspectos, como son: que no rompiera el diseño base del dispositivo, que fuera resistente en cuanto a su alojamiento, esto es en cuanto al capuchón de la antena y que se pudiera ensamblar con facilidad, la disposición de este aditamento en cuanto al diseño nos llevó a hacer algunas adaptaciones de las cuales quedamos muy satisfechos.



Figura 4.6. Podemos apreciar algunos controles ya terminados en coat, los cuales ya cuentan con algunos cambios e incluso una antena muy eficiente.

Molde y fundición

Justificación

A medida que íbamos avanzando en la realización del proyecto, nos vimos en la necesidad de consultar varias alternativas, y una de ellas fue el hecho de mandar a imprimir el modelo físico en 3D, pero los costos y el alcance de este tipo de impresiones nos quitaban muchísimo tiempo y dinero, también consultamos la posibilidad de hacer uso de un CNC (Control Numérico por Computadora), con la finalidad de poder adquirir el molde de inyección de plástico, pero nuevamente no fue posible, ya que está en función de que el taller como tal, cuente con las fresas necesarias para hacer este tipo de trabajo, y nuestra pieza es muy pequeña, la cual cuenta con demasiadas curvas en su diseño, curvas muy pequeñas y algunos relieves con ángulos de 90° por lo cual los talleres de CNC no se comprometían a realizar el molde y si lo llegaban a hacer elevaban demasiado el costo justificando que tenían que adquirir por su parte esas fresas, ya que es herramienta que no usan cotidianamente, por estos y otros motivos no nos fue posible la adquisición de determinado molde. A sí que estuvimos investigando todas las alternativas que se ajustaran a nuestra necesidad y cubrieran el alcance de nuestros costos, pero mejor aún, que nos diera la posibilidad de hacer uso de estos métodos más adelante con la finalidad de aplicarlo a otros procesos.

En este proceso de investigación llegamos al punto de hacer el método de cera perdida que realmente se usa con mayor frecuencia en el área de la joyería. El método es sumamente ancestral y está vigente en la actualidad.



El moldeo a la cera perdida o fundición a la cera perdida

Es un procedimiento escultórico de tradición muy antigua (aparece con la cultura acadia, a mediados del II milenio a.c.) que sirve para obtener figuras de metal (generalmente bronce) por medio de un molde que se elabora a partir de un prototipo tradicionalmente modelado en cera de abeja.

Este modelo previo es rodeado de una gruesa capa de material blando que se solidifica, una vez endurecido, se mete en un horno, que derrite la figura de cera, saliendo ésta por unos orificios creados al efecto (de ahí su denominación) y, en su lugar, se inyecta el metal fundido, que adopta la forma exacta del modelo. Para extraer la pieza final es necesario retirar el molde. La principal ventaja de este procedimiento es la estrecha tolerancia dimensional que podemos conseguir, la cual no puede conseguirse mediante otros procesos. Podemos conseguir dimensiones ajustadas de 0,002 mm por mm. Es un proceso en el que tenemos que controlar numerosas variables, pero obtenemos un acabado superficial excelente, por lo que se utiliza para la fabricación de pre series y prototipos, pudiendo ser utilizado en volúmenes de producción bajos [9].

Introducción del método a la cera perdida

El propósito del presente trabajo es analizar y evaluar materias primas a ser utilizadas en mezclas para la construcción de modelos usados en el proceso de fundición a la cera perdida. Está orientado a materiales que se producen en México o que se obtienen con facilidad en este mercado.

El proceso llamado cera perdida es utilizado para la fabricación de piezas por el método de fundición, tiene una antigüedad de cientos y quizás miles de años, entre sus principales características se destacan la calidad superficial y dimensional de las piezas obtenidas. En su esencia básica, el proceso consiste en la fabricación de un modelo de cera u otro material apropiado, seguidamente se construye un molde alrededor de él y entonces se funde la cera que deja un molde cuya cavidad es una duplicación exacta del modelo original.

En publicaciones de la American Foundrymen's Society (AFS) y del Investment Casting Institute (ICI) [10] y [11] se han definido una serie de propiedades físicas de los materiales que se requieren actualmente para modelos en la fundición a la cera perdida. En primer lugar, la cera debe ser segura para manejarse como un sólido, no debe dar lugar a humo nocivo al ser fundido o quemada cuando se descera el molde.

Además, la cera debe tener un bajo contenido en cenizas.

En la actualidad los moldes para fundición de precisión se construyen sobre el modelo por medio de inmersiones sucesivas, en suspensiones que contienen partículas de refractarios, por lo tanto, la cera también debe ser resistente a cualquier solvente orgánico o álcali que puede estar presente en los barros para los recubrimientos. Otro requisito particular para los modelos construidos por inyección es que deben solidificar rápidamente. Además, la plasticidad o ductilidad de las ceras para modelos deben ser bajas a temperatura ambiente, para que los modelos y los conjuntos no varíen en sus dimensiones bajo su propio peso pero al mismo tiempo, la cera no debe ser frágil.

Otra propiedad que es muy deseable en un modelo de cera es que debe tener suficiente resistencia para ser manejado durante las operaciones de moldeo, más un cierto grado de elasticidad en las uniones, particularmente en las áreas de los canales de colada que deben soportar el peso de los modelos mientras son sumergidos en los barros refractarios, todo ello combinado con alta soldabilidad, para producir uniones resistentes para que los racimos del modelo puedan ejecutarse en forma adecuada.

El acabado superficial del modelo de cera debe ser bueno para que se logre una fiel reproducción en el molde cerámico. Cuando se usa una mezcla de ceras para modelos, los materiales deben ser compatibles, es decir, se deben disolver entre sí a tal punto en el que no ocurrirá la separación de los componentes cuando la mezcla sea mantenida dentro de un determinado límite de temperaturas. Las características térmicas de las ceras también son importantes, particularmente la viscosidad a la temperatura de inyección, y las características de dilatación-contracción. La baja contracción es particularmente importante si se desea obtener en el molde una cavidad con precisión.

Como resultado de todos estos requisitos, actualmente la fabricación de modelos utiliza mezclas de varios tipos de ceras, normalmente combinadas con resinas como la colofonia o resinas sintéticas.

MATERIALES	Temp. Fusión [°C]	Densidad [g/cm ³]	Cenizas [%]	Dureza [dmm]
Cera de Abejas	65,1	0,9433	0,0042	9,19
Carnauba	83,9	0,9704	0,1032	0,03
Colofonia	37,5	1,0574	0,0045	0,13
Microcristalina	50,7	0,9098	0,0047	16,33
Parafina 54/56	55,9	0,8908	0,0010	12,87

Tabla 4.1. Propiedades de las ceras.

Han sido evaluadas una serie de materias primas para ser empleadas como modelos en el proceso de fundición a la cera perdida, empleando diversas técnicas y métodos de análisis.

De los métodos empleados se destaca por su precisión e importancia, mientras que el de dilatación lineal es un procedimiento de taller que ofrece datos comparativos.

Por todo lo expuesto, podemos decir que los materiales evaluados son aptos para la obtención de mezclas para modelos a emplear en fundición a la cera perdida, su utilización deberá realizarse en proporciones adecuadas a los efectos de obtener en cada caso las mayores ventajas que cada uno de ellos ofrece.

Procedimiento usado para el prototipo de la carcasa del control remoto

Primeramente este molde lo dividimos en dos partes:

1.- Cara exterior de la carcasa del control remoto, al cual también se le conoce como hembra de la carcasa.



Figura 4.7. Se puede apreciar una muestra transversal en Coat de nuestro modelo a copiar, la cual cuenta con 4 centradores, guía de sujeción para el capuchón de la antena y con previo acabado superficial.

En la cara exterior destacamos la ergonomía de la pieza enfocada a la localización de los botones, en cuestión de tamaño y uso de estos, el diseño del control con curvas exteriores y en las esquinas generando un aspecto de confort y amigable al tacto, el acabado superficial el cual se pretende que sea tipo espejo cubriendo las características de la estética e higiene, ya que será una pieza que



estará sometida al constante uso y manejo con las manos.

2.- Ahora, la cara interior de la carcasa del control remoto, también llamada como macho de la carcasa.

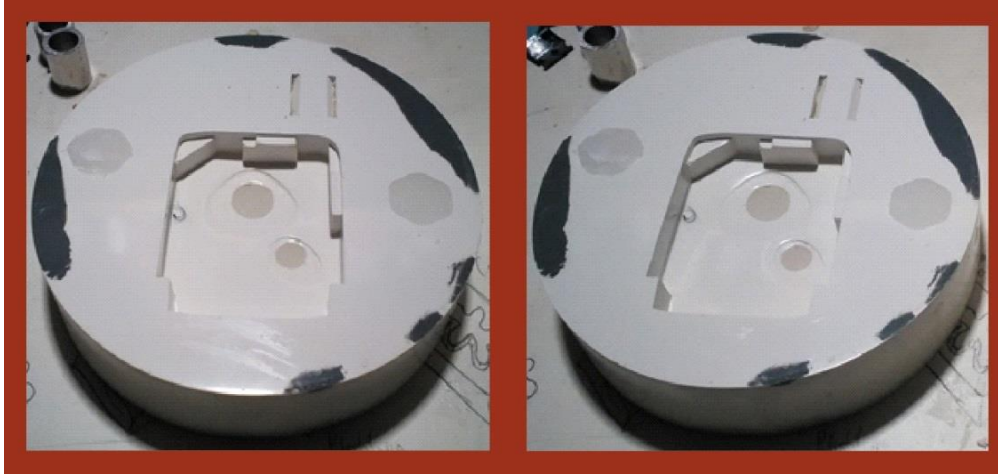


Figura 4.8. En la imagen se aprecia una muestra transversal en coat la cual cuenta con 4 centradores, relieves con ángulos de 90° y previo acabado superficial.

En la cara interior se destacan algunos relieves, los cuales tienen la finalidad de darle soporte y sujeción a la tarjeta que va alojar dando la facilidad de poderla colocar sin problema, cuenta con otros relieves que ayudaran a fijar la pila para que esta cumpla su función sin estar sometida a ningún movimiento interno. Como se puede observar en las fotos, los modelos mostrados anteriormente, son de un área transversal circular, tomada directamente del crisol que vamos a usar.

Esta decisión se tomó ya que en los ensayos de la fundición nos encontramos con algunos problemas en el vaciado del material fundido, a esto decidimos que dicho material reposara en el mismo crisol hasta su enfriamiento y de esa forma nos ayudara a eliminar algunos problemas, el modelo por sus características de tamaño se prestó adecuadamente a que esta decisión fuera sustentada.

En esta fase de proceso el modelo tomado nos presentó algunos problemas para su desmolde, ya que es importante contar con una superficie lo suficiente mente pulida para que este a su vez copie la totalidad de la figura e incluso hasta nos atreveríamos a mencionar que copie el brillo del mismo molde.

En este caso no fue posible ya que dos de los centradores son muy pequeños y profundos y el pulir estas zonas en vez de ayudarnos, nos complicaba cada vez más el trabajo, así que optamos por corregir nuevamente el molde de Coat, en esta ocasión retiramos los dos centradores que se

encuentran en medio de la pieza con la finalidad de que el desmolde de la misma se pudiera dar sin problema alguno, también corregimos la profundidad de los centradores laterales ya que estos contaban con algunos relieves que hacían que la cera no se pudiera desmoldar, generando con esto un gravísimo problema a la hora del desmolde de la pieza.



Figura 4.9. Se muestran los centradores de la cara exterior y la cara interior.

Con estas correcciones ya hechas al molde de Coat proseguimos a hacer un vaciado de cera sobre los positivos de estas piezas para tomar los negativos. Esto se hace con la finalidad de tomar la impresión del positivo con un material que posteriormente podamos retirar sin ningún problema y que esta impresión se acerque lo más posible a la real, con la finalidad de que sea fiable.



Figura 4.10. Muestras del desmolde.

Como podemos observar en la *figura 4.10* las muestras de los positivos en cera son suficientemente confiables a pesar de presentar algunos detalles menores los cuales los tomo la cera del molde de Coat, esto es un indicativo de que la cera es un material suficientemente confiable para obtener al máximo todos los detalles del molde. Este procedimiento no fue tan sencillo dominarlo ya que tuvimos que repetirlo muchísimas veces y entender todo lo que pasa en la cera para lograr el desmolde como se muestra en la imagen.

Ya con los moldes en cera procedemos a realizar un vaciado de un cerámico especial llamado Polvo Sauereisen No. 8, el cual presenta las siguientes propiedades mostradas en la tabla anexa.

Es un cemento usado para aislamiento térmico - eléctrico, para máxima resistencia eléctrica, conductiva al calor y al choque térmico, es un polvo granular cuyo color varia del blanco al canela.

Fue fundamental investigar que cerámico estuviera a nuestro alcance en el mercado y que este cubriera las características necesarias para resistir el choque térmico al cual estaría sujeto dentro del crisol, aparte de que este tenía que tener el acabado superficial deseado para copiar la pieza con exactitud.



Figura 4.11. Vaciado del cerámico.

En las fotos podemos apreciar lo que es el vaciado del cerámico y sus características al ser mezclado con agua, ya que si se excede de la cantidad de la misma su acabado no sería el indicado, generando una porosidad mayor a la deseada lo cual no queremos que pase en nuestro modelo ya que estaremos aun paso de hacer la fundición y esta porosidad se vería reflejada en el molde de Zamack.

Una vez seco el molde, el cual tardo en un promedio de 24 horas, este es nuevamente el positivo pero ahora hecho del cerámico, procedemos a retirar la cera usando un poco de calor, en este caso la cual la vamos retirando poco a poco y ahí es de donde proviene el nombre del método de cera perdida, obteniendo los siguientes resultados:



Figura 4.12. Podemos observar en la imagen que realmente el cerámico copió todas las características posibles de nuestro modelo del control en cera, y esto nos indica que nuevamente el cerámico es realmente muy confiable para este método.

Capítulo V

Horno de Fundición y Molde Metálico

Manufactura del horno de fundición

Para el caso de la fundición tuvimos que manufacturar el horno de fundición y esto se realizó con algunos tabiques refractarios, y un cemento especial.



Figura 5.1. Horno de fundición.

Como se muestra en la imagen fue necesario contemplar en promedio el tamaño del crisol que vamos a usar y tomar en cuenta las características de aislante térmico que hacen los tabiques refractarios, los cuales primero realizamos una colada en una base estructurada de perfil de acero, para después colocar en la base 3 tabiques refractarios que nos hagan la función de conservar la temperatura dentro del horno, posteriormente se recortaron estos tabiques y se unieron con el cemento refractario aunados a un colado, de tal forma que quedaran sujetos en una posición vertical y nos proporcionarían mayor volumen dentro del horno de fundición.

Fundición y obtención del molde

Considerando algunas pruebas con anterioridad, usamos un crisol formado por una camisa de un pistón de VW, esto es porque el cilindro cubre nuestra necesidad sin ningún problema, aparte de que sus características al ser sometido a altas temperaturas nos brinda la seguridad de que este no será deformado y podrá disipar el calor de una forma uniforme debido a su configuración de aletas al exterior, las cuales aparte de disipar la temperatura le dan firmeza a su figura geométrica de cilindrada proporcionando un molde confiable, a este crisol le colocamos en la base una cama de arena, esto porque una vez calentado el Zamack y llegando a su punto de fusión podría escurrir por la tapa inferior, después de esta cama de arena se colocó el positivo hecho de cerámico y después de este se colocó el material a fundir que en este caso usamos Zamack como se muestra en la siguiente imagen tomada previamente a la fundición.



Figura 5.2. Se muestra claramente el cerámico que copiara el negativo de nuestro molde y también la cantidad de material a fundir.

Posteriormente se pasa a lo que refiere prender el horno, con una mezcla de gas butano o LP (licuado de petróleo) y aire comprimido, proporcionado por un compresor, este mechero también tuvimos el gusto de manufacturarlo para hacer uso en la fundición considerando que tiene una tobera de 0.05 mm de diámetro y un cuello que sirve de Venturi haciendo la mezcla de aire combustible.



Figura 5.3. Horno de fundición.

Como se muestra en la figura 5.3 la tobera nos proporciona la mezcla exacta de aire combustible, claro que esta se regula, aparte de esto para la fundición fue necesario entender perfectamente lo que es el diagrama de fases respecto al material a fundir como es el Zamak grado 3 el cual mostramos. Aunado a esto fue de suma importancia entender el proceso y los tiempos a seguir con la finalidad de no alterar sus propiedades físicas de la aleación del Zamak grado 3 esto se logró dando el tiempo exacto como lo mostramos en la siguiente tabla 5.1.

Temperatura Ambiente	23 °C
Hora de inicio (encendido del horno)	5:36
Hora en que el material llega al punto de fundición	5:58
Hora en que se desmolda	6:12

Tabla 5.1. Tiempos de fundición y desmolde del Zamak.

En la tabla 5.1 se puede apreciar que para llegar al punto de fundición del material se llevó 22 minutos, esto es importante porque si lo dejamos más tiempo se pierden algunas propiedades del Zamak, tomando en cuenta esto, se aplicó aire para ayudar a su enfriamiento y esto fue en un promedio de 14 minutos.



Figura 5.4. Retiro del cerámico.

Una vez realizando los pasos anteriores nos acercamos cada vez más a la obtención del molde, como se muestra en la imagen teniendo en cuenta que se retiró la capa de arena que se encontraba en la base, se puede apreciar el cerámico y procedemos a retirar del crisol de nuestra fundición, observamos que esta cubre perfectamente toda el área del cerámico indicándonos que la fundición se realizó correctamente.

Procedemos a retirar el cerámico que nos brindó la copia fiel del negativo, este cerámico se va retirando con cautela, tratando de no marcar el molde.

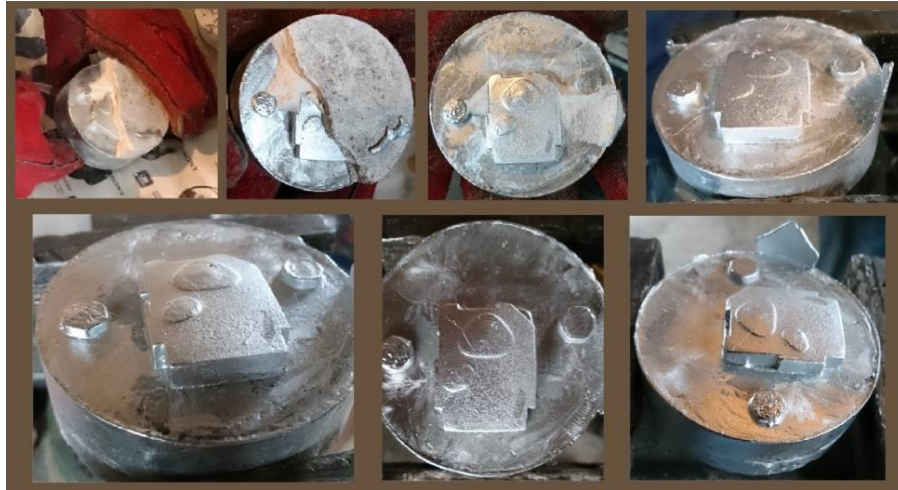


Figura 5.5. Molde de Zamak.

Como se muestra en la figura 5.5 nuestro modelo tiene las características necesarias para ser aprobado, ya que este copio exactamente todos los relieves que necesitamos hasta los formados en un ángulo de 90° , la pieza salió limpia de imperfecciones generadas por gases acumulados y esto se puede observar al obtener la cara de asiento limpia de dichas imperfecciones.

Claro está que aún falta un pulido y sí es necesario darle un acabado tipo espejo con la finalidad de que el plástico se pueda desmoldar sin ningún problema, aparte de eso hay que hacerle sus respiraderos y vertedero, así como sus centradores que nos proporcione la seguridad de obtener una geometría exacta en las caras laterales del molde, esto se conseguirá al empalmar ambas piezas y hacer las pruebas necesarias para obtener los mejores resultados.

Montaje y corrección del molde

Una vez obtenido el molde, posterior a la fundición tuvimos que corregir algunas caras de este, con la finalidad de que el molde se ensamble correctamente.

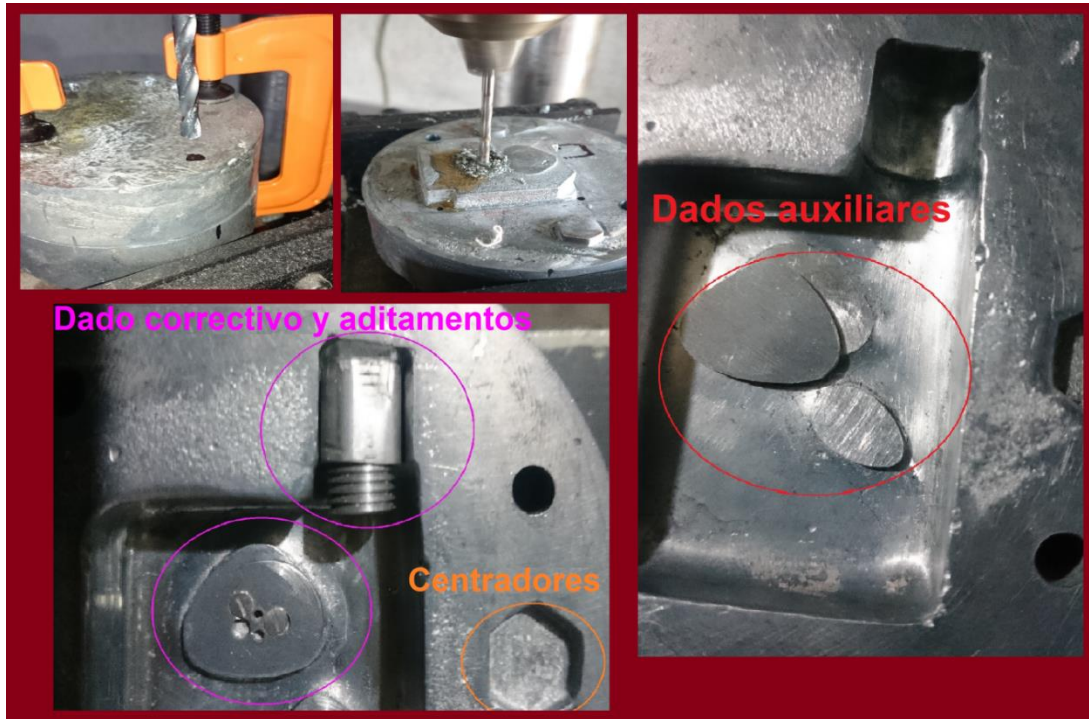


Figura 5.6. Se agregó algunos dados que nos ayudan al molde.

Como se muestra en la *figura 5.6* se anexaron algunos dados que nos corrigen la figura y nos ayudan a empalmar correctamente el molde, aunado a esto se perforo el vertedero y se anexo un aditamento para que quede libre la cuerda que sujetará la antena posterior mente, esto es para el caso del dado principal, pero aunado a esto se corrigió el molde para inyectar la tapa del control, el cual se presenta a continuación.

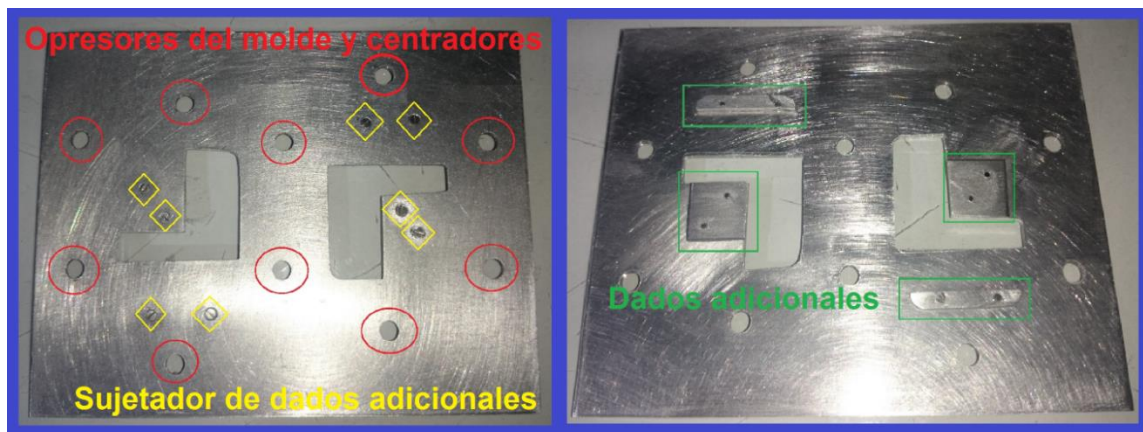


Figura 5.7. En el caso del molde usado para la tapa mostrada en la imagen, se puede apreciar algunos dados que se colocaron, estos son para darle forma a la figura que se va a inyectar.



Capítulo VI

Bobina de Inyección de Plástico

Diseño y manufactura de la bobina de inyección

Para lograr la inyección tuvimos que manufacturar una bobina que se encargara de proporcionar la temperatura necesaria para fundir el plástico sin que este se requemara y sin que cambiemos las propiedades básicas de este material.

Para la manufactura de esta bobina se usaron algunos materiales de gran importancia en este caso el cerámico, el cual tiene ciertas propiedades dieléctricas y resistencia a la temperatura las cuales nos permite realizar con seguridad nuestra inyección.

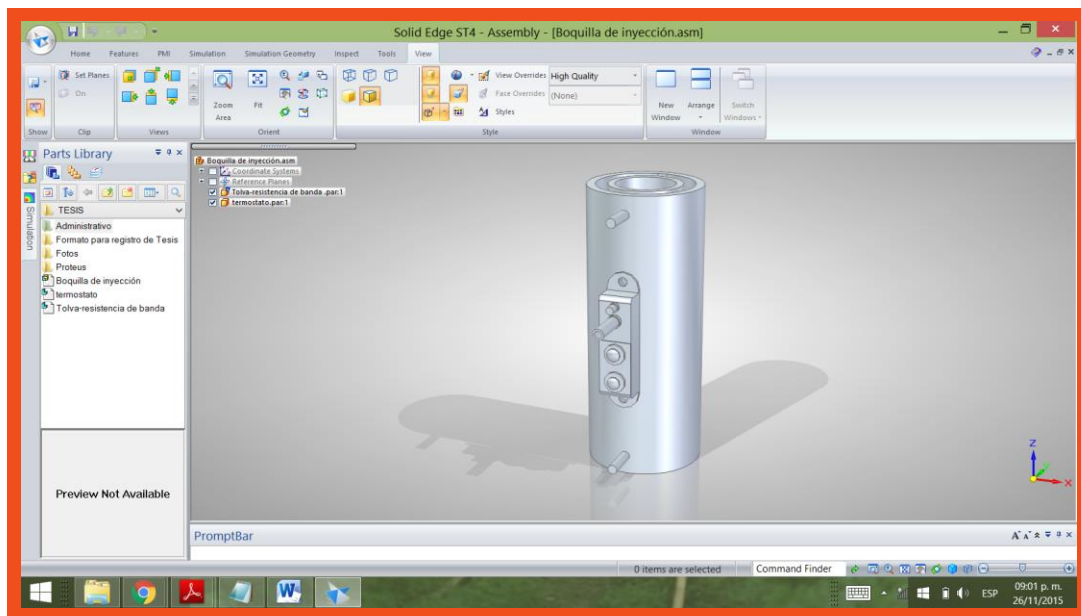


Figura 6.1. Inyectora de plástico, diseño en CAD.



Cálculos realizados para el funcionamiento de la bobina

Para calcular el trabajo que nos pudiera dar la bobina se realizaron los siguientes cálculos:

$$V = RI$$

$$\therefore I = \frac{V}{R} \quad (\text{ecu 1})$$

Usaremos algunas fórmulas básicas para calcular el consumo de energía, en este caso al despejar el Voltaje podemos obtener la corriente a lo cual la llamaremos (ecu 1).

$$I = \frac{W}{V}$$

$$\therefore W = VI \quad (\text{ecu 2})$$

Recordemos que la potencia la podemos obtener de (ecu 2).

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (\text{ecu 3})$$

Pero también tenemos que obtener la resistencia del cable, el cual está hecho de nicromo, con un porcentaje de 80% y 20%, para obtener esta resistencia del cable usaremos la siguiente (ecu 3).

$$\rho = \frac{\Omega \text{ mm}^2}{m}$$

$$\therefore \rho_{\text{nicromo}} = 1.5 \left[\frac{\Omega \text{ mm}^2}{m} \right]$$

Pero ρ es lo que viene siendo la resistividad del material en este caso nicromo y esa ya está calculada en tablas que nos brinda el fabricante en función al calibre.

En este caso estamos usando un calibre 20 el cual tiene un \emptyset de 0.8 mm \therefore el radio de este es de 0.4 mm, este dato es importante con la finalidad de obtener el arrea del transversal del cable (**S**) y está dada en [mm²] para la (ecu 3).



Para obtener la longitud (**L**) del cable que estamos usando, tomaremos el ϕ de la bobina y éste debe estar en [m].

Obteniendo la longitud del cable (**L**).

$$\therefore \phi_{bobina} = 41 [mm]$$

$$(41 [mm]) \left(\frac{1[m]}{1000[mm]} \right) = 0.041[m]$$

$$\therefore r = 0.0205 [m]$$

$$\therefore Perimetro = 2\pi r$$

$$\therefore Perimetro = 2\pi(0.0205)[m]$$

$$= 0.128805 [m]$$

$$\therefore L = Perimetro \times Numero \ de \ vueltas$$

$$\therefore L = 0.128805[m] \times 47 \ vueltas$$

$$\therefore L = 6.053849[m]$$

Obteniendo **S** para la (ecu 3).

$$\therefore S = A$$

$$\therefore A = \pi r^2$$

$$\therefore A = \pi(0.4)^2[mm]$$

$$\therefore A = 0.502655[mm^2]$$

Sustituyendo los datos obtenidos en la (ecu 3), para obtener la resistencia.

$$R = \rho_{nicromo} \frac{L}{S}$$

$$R = \left(1.5 \left[\frac{\Omega \ mm^2}{m} \right] \right) \left(\frac{6.053849[m]}{0.502655[mm^2]} \right)$$

$$\therefore R = 18.065625[\Omega]$$



Sustituyendo datos en ecu 1.

$$\therefore I = \frac{V}{R}$$

$$\therefore I = \frac{127[V]}{18.065625[\Omega]}$$

$$\therefore I = 7.029926[\text{Ampers}]$$

$$\therefore W = VI$$

Sustituyendo datos en ecu 2.

$$\begin{aligned} \therefore W &= \\ &= (127[V])(7.029926[\text{Ampers}]) \end{aligned}$$

$$\therefore W = 829.800558[W]$$



Figura 6.2. Bobina de Nicromel.

En la figura 6.2 podemos apreciar la resistencia que se usó de nicromel y la cantidad de vueltas, así como el calibre del nicromel, los cuales son muy importantes para obtener la temperatura deseada, esta resistencia se enrolla en un tubo con el cerámico previamente colocado y posteriormente



insertado en otro tubo de aluminio de mayor diámetro para contener el material.



Figura 6.3. Cañón de inyección.

A esto se manufacturo también el cañón que va a contener el plástico fundido, a pesar de tener una apariencia muy básica, cumple con lo necesario para realizar la inyección, se pensó en hacerlo modular con la finalidad de que si encontramos algún percance se pueda corregir sin tener que generar gastos excesivos, este criterio se aplicó a todo el sistema de fundición de plástico.

Circuito de control de temperatura

El circuito de control de temperatura fue diseñado considerando la rectificación y regulación de voltaje para el suministro de energía a los componentes del circuito que se listan a continuación.

Puente rectificador

Los llamados puentes rectificadores son componentes que integran 4 diodos conectados para formar un circuito denominado puente rectificador. En la figura se muestra la simbología de este componente y el circuito que integra. Aplicando una tensión alterna en las terminales de entrada, se obtiene en las terminales de salida una tensión continua.

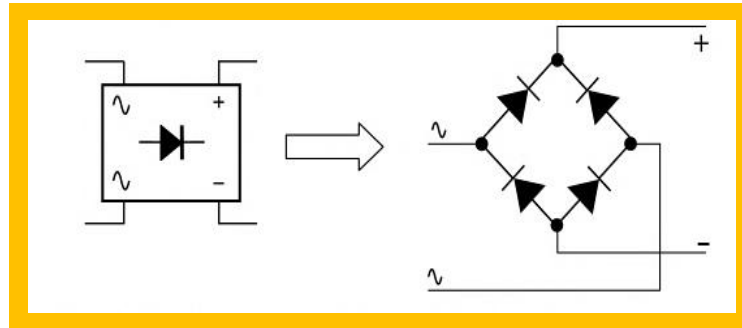


Figura 6.4. En el diseño de la placa de control de temperatura se consideró un puente rectificador DB107.

Termoacoplador

El dispositivo más común para medir temperaturas de procesos industriales es el termoacoplador. Un termoacoplador es un par de cables de metales diferentes unidos en un lazo completo como se muestra en la figura 6.5. Los cables diferentes tienen dos puntos de unión, uno a cada extremo del lazo. Una unión denominada unión caliente, está sujeta a una alta temperatura, la otra unión, denominada unión fría, está sujeta a una baja temperatura. Cuando esto se realiza un voltaje neto pequeño se crea en el lazo; este voltaje es proporcional a la diferencia entre las dos temperaturas de unión. Lo que pasa dentro de un lazo termoacoplador es que un voltaje pequeño se produce en cada unión de metales diferentes debido a un fenómeno poco conocido denominado efecto Seebeck.

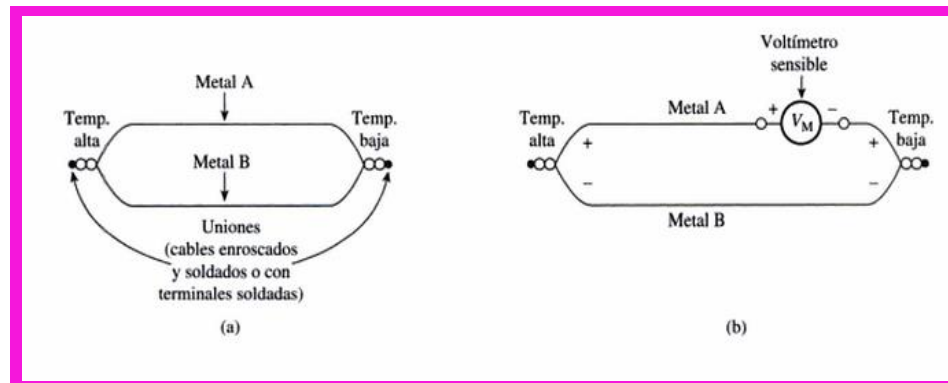


Figura 6.5. (a) Termoacoplador básico, (b) termoacoplador con un voltímetro insertado en el lazo.

Cuanto mayor sea la temperatura en la unión, mayor será el voltaje producido por esa unión. Además la relación entre el voltaje y la temperatura es aproximadamente lineal; es decir, un incremento determinado en la temperatura produce un incremento determinado en el voltaje. La constante de proporcionalidad entre el voltaje y la temperatura depende de cuál de los dos metales está siendo utilizado. Debido a que un lazo completo siempre tiene dos uniones, se producen dos

voltajes. Estos voltajes se oponen entre sí en el lazo, como lo muestra la figura 6.5b. El voltaje neto disponible para conducir la corriente a través de la resistencia del lazo es la diferencia entre los dos voltajes individuales de la unión, lo cual depende de la diferencia entre las dos temperaturas de unión.

Para medir la diferencia de temperatura, sólo es necesario romper el lazo abierto en un punto conveniente (en una ubicación fría) e insertar un voltímetro. El voltímetro debe ser sensible, debido a que el voltaje producido por un lazo termoacoplador está en el rango de los milivoltios la lectura se puede entonces convertir a medición de temperatura mediante la referencia a tablas o graficas estándares que relacionan estas dos variables. En cada caso el primer metal o aleación de metal mencionada en el termoacoplador es la terminal positiva, y el segundo metal o aleación de metal es la terminal negativa.

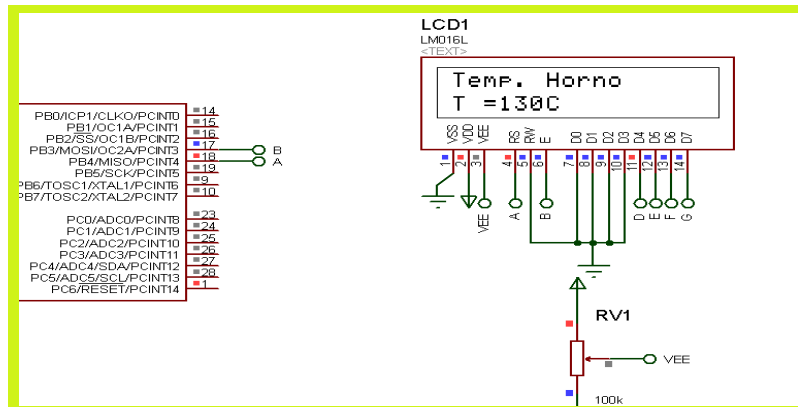
Operación del circuito

Una vez llevada a cabo la rectificación y regulación, es posible calibrar la entrada de voltaje al amplificador operacional por medio de un potenciómetro, este nivel de referencia será comparado con la lectura ofrecida por el termopar de forma que cuando este rebase el nivel calibrado previamente, desconecte el sistema por medio de un relevador.

Posibles mejoras al sistema actual

Uso de display para el despliegue de lecturas de temperatura

La posibilidad de la inclusión por medio de un control retroalimentado haciendo uso de un microcontrolador es posible dadas las librerías disponibles en la interfaz de arduino.





Prueba de la bobina de temperatura

Una vez obtenida la bobina y el cañón de inyección se procedió a hacer las pruebas necesarias en cuestión de temperatura y eficiencia, como podemos apreciar en las imágenes donde se aprecia la fluidez del material y la temperatura la cual nos va dejando un margen para usar otros tipos de plásticos en el mismo sistema.



Figura 6.7. Pruebas de temperatura.

Los plásticos

“Plástico” proviene de PLASTIKOS palabra griega que significa susceptible de ser modelado o moldeado.

Quizá la mejor manera de caracterizar los plásticos es describir un número de cualidades que tienen en común, eliminando de esta forma los materiales que no las tienen:

- Son materiales orgánicos, basados en la química del carbón.
- Son materiales sintéticos, productos de la industria química, que convierte materias primas en formas nuevas y radicalmente diferentes.
- Son polímeros de elevado peso molecular; esto es, son moléculas gigantes formadas por numerosas unidades repetidas combinadas en agregados muy grandes.



El proceso que condujo a los plásticos modernos fue la sintetización: parte de moléculas sencillas para obtener polímeros mediante una reacción química polimerizante.

Los resultados alcanzados por los primeros plásticos incentivaron a los químicos generando una evolución muy rápida, hoy tenemos unos 50 materiales que con sus tipos, subtipos, mezclas y demás pueden llegar a ser unos 2000.

Los plásticos se caracterizan por una relación resistencia/densidad alta, unas propiedades excelentes para el aislamiento térmico y eléctrico y una buena resistencia a los ácidos, álcalis y disolventes, tienen baja conductividad eléctrica y térmica, y no son adecuados para utilizarse a temperaturas elevadas.

Clasificación de los Polímeros

Según a su estructura y comportamiento al calor, los polímeros se clasifican en:

- Elastómeros
- Termoestables
- Termoplásticos

Elastómeros

Los elastómeros son compuestos químicos cuyas moléculas consisten en varios miles de monómeros, que están unidos formando grandes cadenas, las cuales son altamente flexibles, desordenadas y entrelazadas.

Cuando son estirados, las moléculas son llevadas a una alineación y con frecuencia toman una distribución muy ordenada (cristalina), pero cuando se las deja de tensionar retornan espontáneamente a su desorden natural, un estado en que las moléculas están enredadas.

Entre los polímeros que son elastómeros se encuentran el polisopreno o caucho natural, el polibutadieno, el polisobutileno y los poliuretanos.

Termoestables

Los polímeros termoestables, son aquellos que solamente son blandos o "plásticos" al calentarlos por primera vez. Después de enfriados no pueden recuperarse para transformaciones posteriores. Es un material compacto y duro, su fusión no es posible (la temperatura los afecta muy poco), insoluble para la mayoría de los solventes, encuentran aplicación en entornos de mucho calor, pues no se ablandan y se carbonizan a altas temperaturas.



Según su componente principal y características algunas de las clasificaciones de los polímeros termoestables son:

- Resinas Fenólicas
- Resinas de Poliéster
- Resinas Ureicas
- Resinas Epóxicas
- Poliuretano
- Resinas de Melamina

Termoplásticos

Las resinas termoplásticas son fácilmente conformables al aplicárseles temperatura y presión, entre los métodos más usados para su manufactura se encuentran la inyección, extrusión, soplado y termoformado.

La temperatura máxima de trabajo para los productos moldeados son bastante más bajas que la temperatura de ablandamiento o de fusión, usualmente alrededor de la mitad de la temperatura de fusión correspondiente.

Variaciones en los esfuerzos mecánicos o condiciones ambientales pueden reducir los márgenes de resistencia del material. Otra característica de estos materiales es su tendencia a absorber agua, ya sea del ambiente o por inmersión.

En general, los termoplásticos se pueden clasificar con referencia a su arreglo molecular, lo cual influye en su proceso de fusión, solidificación, y puede determinar las propiedades físicas y mecánicas.



Estructura	Formación	Características	Ejemplo
Amorfa	Las moléculas no presentan ningún tipo de orden: están dispuestas aleatoriamente.	<ul style="list-style-type: none"> • Son normalmente transparentes. • La fusión se realiza en un intervalo de temperatura, no existe un punto de fusión preciso. <ul style="list-style-type: none"> • A medida que la temperatura aumenta el material pasa de un estado sólido a uno pastoso, hasta convertirse finalmente en un fluido muy viscoso. <ul style="list-style-type: none"> • En el intervalo de fusión pueden ser manufacturados por inyección, extrusión, soplado, etc. • Sin carga tienen una contracción en el moldeo de 0.3 % a 0.9%, con carga este valor es menor. 	<ul style="list-style-type: none"> • PVC • PS • SAN • ABS • PMMA • PC
Cristalina	Al enfriarse, sus cadenas tienden a enlazarse muy ordenadamente por lo que se produce un empaquetamiento muy ordenado, que se denomina cristalización.	<ul style="list-style-type: none"> • Son opacos • Poseen un punto característico de fusión <ul style="list-style-type: none"> • El intervalo útil de transformación está limitado a pocos grados centígrados: un poco abajo del punto de fusión, está todavía sólido y no se puede moldear; y no es prudente superar mucho la temperatura de fusión porque puede intervenir el fenómeno de degradación térmica. <ul style="list-style-type: none"> • Tienen contracción elevada en el moldeo. La contracción para un polímero no reforzado varía de 1 al 5 %. 	<ul style="list-style-type: none"> • PE • PP • POM • PA • PET

Tabla 6.1. *Tabla de Termoplásticos.*

En esta gráfica se puede apreciar las características físico - mecánicas de los plásticos de ingeniería más conocidos que permiten reconocer que tipo de proceso de moldeo de plástico se puede realizar, según el tipo de polímero.

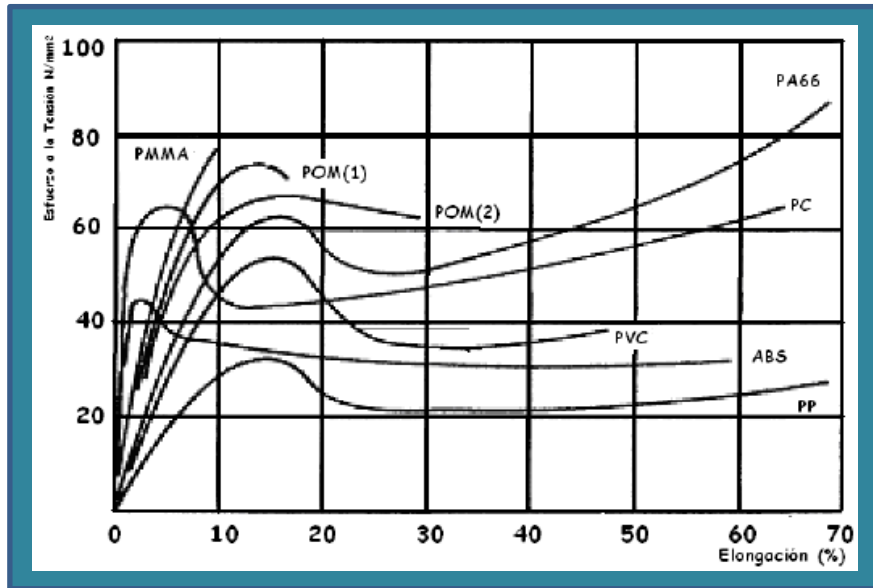


Tabla 6.2. Curvas de esfuerzo vs. Elongación correspondiente a diversos polímeros termoplásticos (sin refuerzos fibrosos).

Esfuerzo a la tensión a 23°C – 50%(humedad relativa).

SÍMBOLO ISO	NOMBRE COMPLETO DEL TERMOPLASTICO
PMMA	Polimetacrilato
POM	Poliacetal (Homopolímero, Copolímero)
PA66	Poliamida 66 (Semicristalino)
PA6	Poliamida 6 (Semicristalino)
PC	Policarbonato
PVC	Cloruro de Polivinilo
ABS	Copolímero compuesto por acrilonitrilo Butadieno-Estireno
PP	Polipropileno
PBTP	Polibutelen-tereftalato
PPO	Polióxido de fenileno

Tabla 6.3. Nomenclatura de algunos termoplásticos.

ADITIVOS

Con frecuencia se añaden sustancias químicas para modificar o mejorar determinadas propiedades de los polímeros y obtener mayores beneficios en su uso industrial.

Aditivo	Características	Sustancia usada
Antioxidantes	<p>El oxígeno origina un serie de reacciones químicas que resultan en la ruptura de enlaces, para evitarlo se añaden sustancias químicas; los paquetes contienen antioxidantes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Primarios, para detener o dar fin a las reacciones • Secundarios, para neutralizar los materiales reactivos que provocan los ciclos de oxidación <p>Se añaden durante su fabricación.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Fenólico • Amina • Fosfito • Tioésteres
Agentes Antiestáticos	<p>Atraen la humedad del aire haciendo que la superficie sea más conductora, para disipar las cargas estáticas</p> <p>Se puede incluir en la composición de los plásticos o aplicarse en la superficie.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Aminas • Fosfatos orgánicos • Ésteres de poietilen-glicol
Colorantes	<p>Para darle color a los plásticos se añaden durante la fabricación, se usan cuatro tipos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tintes: Son orgánicos, solubles en plásticos y colorean formando uniones químicas con moléculas, son brillantes y resistentes. <p>Pigmentos Orgánicos: no son solubles en los disolventes comunes, son los colores opacos más brillantes, tienden a formar aglomerados que producen manchas y vetas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pigmentos inorgánicos: La mayoría tienen una base de metal, no producen colores tan brillantes pero resisten mejor la luz y el calor. • Algunos de ellos están restringidos, debido a los efectos peligrosos que suponen para la salud. • Pigmentos de efecto especial: pueden ser orgánicos o inorgánicos y se usan para dar efectos especiales de color, como brillo, tonos reflectantes, lustres perlados, fluorescencia y luminiscencias especiales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Óxidos y sulfuros de titanio, zinc, hierro, cadmio y cromo • laminillas de aluminio, latón u oro • Polvo metálico • Esencia de perla



Agentes de Copulación	<p>Aceleradores, se usan para mejorar la unión entre las fases de matriz, refuerzos y estratos, se usan como tratamientos superficiales</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Silano • Titanato
Agentes de Curado	<p>Producen reticulación mediante la unión de extremos de los monómeros, son sustancias que favorecen la polimerización; deben ser manejados con precaución debido a su toxicidad</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Peróxidos de benzoilo y de metil cetona
Retardadores de Llama	<p>Muchos de ellos emiten un gas halógeno que extingue el fuego, otros reaccionan hinchándose o expandiéndose y formando una barrera</p> <p>El ATH enfría el área de llama produciendo agua</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Trihidrato de alúmina (ATH) • Materiales halogenados • Compuestos de Fósforo
Plastificantes	<p>Se añade al plástico para aumentar su flexibilidad y reducir la temperatura de fundido y la viscosidad</p> <p>Dependiendo del polímero se usa un tipo de plastificante diferente.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • ftalato dedioctilo • Parafinas cloradas • Fosfato de cresil difenilo • hidrocloro fluorocarb
Agentes de formación de espuma/soplado	<p>Existen dos tipos:</p> <p>Físicos: se descomponen a temperatura específica, liberando gases que originan células o huecos en los plásticos.</p> <p>Químicos: liberan gases debido a una reacción química.</p>	<p>Onados (HCFC), Aunque dañan la capa de ozono y se están buscando sustitutos</p> <ul style="list-style-type: none"> • azodicarb onamida
Estabilizantes térmicos	<p>Retardan la descomposición causada por el calor, energía luminosa, oxidación o esfuerzo inducido cortante.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • formulaciones : • bario-zinc • calcio-zinc • magnesio-zinc • fosfito
Lubricantes	<p>Ayudan a evitar parte de la fricción entre la resina y el equipo de fabricación Favorecen la emulsión de otros ingredientes y proporcionan lubricación interna Evitan que los plásticos se peguen a la superficie del molde durante el tratamiento</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ácidos grasos • Ceras amidas • Ésteres y alcoholes • Ceras de parafinas

Tabla 6.4. Aditivos.



Procesos de manufactura de los plásticos

Dependiendo del tipo de plástico que se desea emplear existen diferentes formas de manufacturarlo, como se mencionó anteriormente, los termoplásticos son producidos por procesos de inyección, extrusión, soplado, termo formado; para los plásticos termoestables se encuentra el moldeo por compresión, el moldeo por transferencia, y la colada.

Conformado de los plásticos

El plástico se procesa de formas distintas, según sea termoplástico o termoestable. Los termoplásticos, formados por polímeros lineales o ramificados, pueden fundirse. Se ablandan cuando se calientan y se endurecen al enfriarse. Lo mismo ocurre con los plásticos termoestables que están poco entrecruzados. No obstante, la mayoría de los termoestables ganan en dureza cuando se calientan; el entrecruzado final que los vuelve rígidos se produce cuando se ha dado forma al plástico.

Las técnicas empleadas para conseguir la forma final y el acabado de los plásticos dependen de tres factores: tiempo, temperatura y deformación. La naturaleza de muchos de estos procesos es cíclica, si bien algunos pueden clasificarse como continuos o semicontinuos.

Una de las operaciones más comunes es la extrusión. Una máquina de extrusión consiste en un aparato que bombea el plástico a través de un molde con la forma deseada. Los productos extrusionados, como por ejemplo los tubos, tienen una sección con forma regular. La máquina de extrusión también realiza otras operaciones, como moldeo por soplado o moldeo por inyección.

Otros procesos utilizados son el moldeo por compresión, en el que la presión fuerza al plástico a adoptar una forma concreta, y el moldeo por transferencia, en el que un pistón introduce el plástico fundido a presión en un molde. El calandrado es otra técnica mediante la que se forman láminas de plástico.

Algunos plásticos, y en particular los que tienen una elevada resistencia a la temperatura, requieren procesos de fabricación especiales. Por ejemplo, el politetrafluoretileno tiene una viscosidad de fundición tan alta que debe ser prensado para conseguir la forma deseada, y sinterizado, es decir, expuesto a temperaturas extremadamente altas que convierten el plástico en una masa cohesionada sin necesidad de fundirlo.

MÉTODO DE CONFORMADO	PRODUCTOS
Extrusión	Semiacabados, productos intermedios para calandrado, soplado o hilado.
Calandrado	Hojas de materiales, tiras revestidas.
Inflado	Hojas y cuerpos huecos.
Colada por inyección	Piezas a partir de masas de colada por inyección.
Conformado en caliente	Piezas moldeadas a partir de semiacabados.
Prensado inyección-prensado.	Piezas de resinas sintéticas y masas prensables.
Prensado en capas (estratificación)	Productos estratificados a partir de rollos impregnados con resinas sintéticas.
Lienzo de caucho con presión o vacío	Productos estratificados a partir de rollos soporte impregnados con resinas baja presión.
Colada	Modelos, inclusiones, piezas moldeadas.
Centrifugado	Cuerpos huecos con simetría axial o huecos cerrados
Inmersión	Cuerpos huecos o revestimientos
Recubrimiento	Plastificados sobre rollo de papel o tejido
Arranque de viruta	Transformación de semiacabados, acabados y limpieza de piezas moldeadas.
Inyección por llama	Revestimientos sobre base fija.
Soldadura y encolado	Unión de semiacabados y piezas a partir de los mismos mediante conformado en caliente o arranque de viruta.

Tabla 6.5. Métodos de conformado para materiales plásticos.



Capítulo VII

Manufactura de la Carcasa del Emisor con Inyección de Plástico

Inyección

El moldeo por inyección es una técnica muy popular para la fabricación de artículos. La popularidad de este método se explica con la versatilidad de piezas que pueden fabricarse, la rapidez de fabricación, el diseño escalable desde procesos de prototipos rápidos, altos niveles de producción y bajos costos, alta o baja automatización según el costo de la pieza, geometrías muy complicadas que serían imposibles por otras técnicas, las piezas moldeadas requieren muy poco o nulo acabado pues son terminadas con la rugosidad de superficie deseada, color y transparencia u opacidad, buena tolerancia dimensional de piezas moldeadas con o sin insertos y con diferentes colores.

El moldeo por inyección consiste básicamente en fundir un material plástico en condiciones adecuadas e introducirlo a presión en las cavidades de un molde, donde se enfría hasta una temperatura a la que las piezas puedan ser extraídas sin deformarse. El gran desarrollo que las máquinas de inyección han sufrido en los últimos años se ha visto influenciado no sólo por el creciente número de materiales y tipo de los mismos disponibles, sino también por la demanda creciente de artículos de plástico. Muchos de los materiales corrientes como PS, PA, PVC, PMMA, etc., se desarrollaron en la década de los años 30. El moldeo por inyección se aplica normalmente a resinas termoplásticas si bien, con ciertas modificaciones, se puede aplicar a materiales termoestables y a elastómeros sintéticos.

En el moldeo por inyección un polímero en estado líquido y caliente, no newtoniano, fluye a través de conductos o canales de geometría compleja, las paredes de los cuales están mucho más frías que el propio polímero, y llena un molde que también tiene las paredes frías. El modelado del proceso es muy complejo, aunque existen algunos programas comerciales ampliamente extendidos como *MOLDFLOW*, que han contribuido al estado actual de desarrollo de esta técnica. El moldeo por inyección es, quizás, el método de transformación más característico de la industria de plásticos, y de hecho las máquinas de inyección modernas son un ejemplo de máquinas ideadas y fabricadas con vistas a la producción masiva de piezas.

El proceso de inyección

El proceso de inyección es discontinuo, y es llevado totalmente por una sola máquina llamada inyectora con su correspondiente equipo auxiliar o periférico.



El proceso puede dividirse en dos fases; en la primera tiene lugar la fusión del material y en la segunda la inyección del mismo en el molde. La manera de realizar estas dos fases es lo que distingue unas máquinas de otras.

A continuación se describen las primeras máquinas de inyección empleadas y la evolución lógica que sufrieron las mismas hasta llegar a las máquinas convencionales actuales. Al final se describe un ciclo completo de inyección en una máquina convencional.

Máquinas de inyección

Características básicas de las máquinas

Es conviene aclarar y definir algunos conceptos y vocablos propios de las máquinas, moldes y tecnología del moldeo por inyección.

Con respecto a la máquina debemos considerar las siguientes características básicas que son las primeras consideraciones que se realizan a la hora de definir una máquina de inyección, como son capacidad de inyección, capacidad de plastificación, presión de inyección máxima, fuerza de cierre máxima y velocidad de inyección máxima.

Capacidad de inyección

Se entiende por *capacidad de inyección* la cantidad máxima de material que una máquina es capaz de inyectar de una sola vez en un molde a una presión determinada. La capacidad de inyección proporciona una idea de las posibilidades de la máquina considerada.

En los catálogos de los fabricantes de máquinas de inyección en ocasiones se indica la capacidad de inyección como el peso máximo, expresado en gramos, que puede inyectar la máquina en un solo ciclo, supuesto que no se ha colocado ningún molde o que éste ofrece muy poca resistencia a la entrada del polímero. Es frecuente encontrar la capacidad de inyección referida al poliestireno, aunque en ocasiones también viene referida a otros materiales de uso común en inyección.

En ocasiones también se expresa la capacidad de inyección de la máquina como el volumen barrido por el husillo de inyección en su recorrido hacia adelante, lo que resulta menos ambiguo que referirla a un tipo concreto de material.

En una situación real la capacidad de inyección viene determinada por el diámetro y la carrera del pistón o husillo de inyección, así como por el tipo de molde utilizado, la temperatura que alcanza el

polímero fundido, la presión a que se inyecta y otras variables. Cuando se emplea un molde que es difícil de llenar, la capacidad real de inyección de la máquina es siempre algo menor que la indicada por el fabricante.

La unidad de inyección suele escogerse de forma que sea capaz de contener material suficiente para dos ciclos. En otras palabras el 50% de la capacidad de inyección de un cilindro debería vaciarse en cada ciclo. Por otra parte, la cantidad de material introducida en el molde nunca debería ser inferior al 20% ni superior al 80% de la capacidad del cilindro, de modo que el tiempo de permanencia del material en la cámara de plastificación no sea excesivamente largo para evitar que el material se degrade, ni excesivamente corto para evitar que no se encuentre plastificado.

Capacidad de plastificación

La *capacidad de plastificación* es otro dato muy importante para evaluar las posibilidades de una máquina de inyección, sin embargo no es fácil expresar numéricamente este concepto. Se puede definir, aunque ambiguamente, como la cantidad máxima de material que la máquina es capaz de plastificar por unidad de tiempo. Para comprender mejor este criterio es preciso aclarar que por “plastificar” un polímero debe entenderse el calentar éste lo suficiente para que alcance una temperatura a la que pueda ser inyectado, y esta aclaración mantiene la ambigüedad de la definición anterior. Evidentemente, la capacidad de plastificación depende de la eficacia de calefacción de la cámara de plastificación y de las propiedades térmicas del polímero que se calienta.

No hay método universalmente aceptado que indique las condiciones en que debe medirse la capacidad de plastificación de una máquina. Como en el caso de la capacidad de inyección, cada fabricante indica en el catálogo de sus máquinas la capacidad de plastificación de éstas expresada como caudal máximo plastificado de un material en unas condiciones de procesado determinadas, por lo general poliestireno (en *kg/h* o *g/s*), de modo que sólo sirve como guía para hacer comparaciones aproximadas entre máquinas de diversa procedencia.

Presión de inyección

La *presión de inyección* es una característica mejor definida. Se entiende por presión de inyección la medida en la cara delantera “a” del pistón de inyección o husillo. Como el husillo está actuado por un pistón hidráulico al que es solidario, la fuerza en ambas caras “A” y “a” será la misma, y si *p* es la presión de la línea hidráulica y *P* la presión de inyección se cumplirá.

$$P = p (A/a)$$

La presión *p* en la línea puede leerse en un manómetro *M* y la relación de superficies entre las caras de los pistones (*A/a*) es una característica de construcción de la máquina que debe conocerse. Las

máquinas convencionales se construyen con relaciones A/a entre 8 y 9 generalmente.

Esta presión de inyección P no es la misma que la máxima presión que se desarrolla en las cavidades de moldeo, la cual es bastante menor y puede tener valores solamente del 20% de la presión de inyección y aun menores, dependiendo de las características del molde, de las condiciones de moldeo y del polímero utilizado.

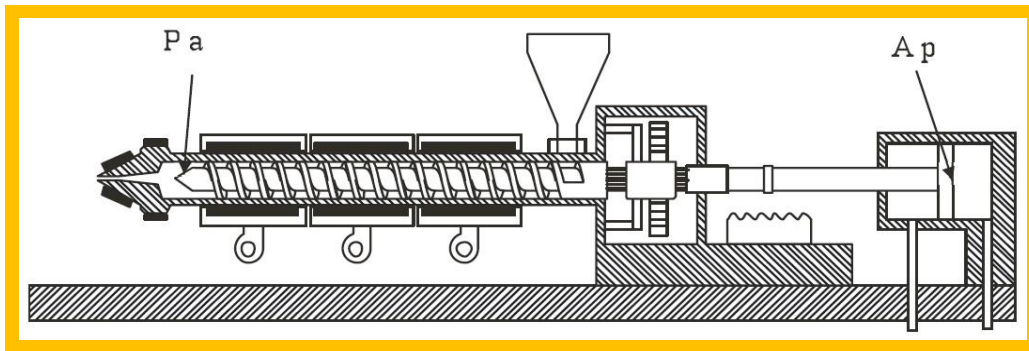


Figura 7.1. Posición en la que se determina la presión de inyección P , y la presión del sistema hidráulico, p , que actúa sobre el tornillo.

Velocidad de inyección

La *velocidad de inyección* es el caudal de material que sale de la máquina durante el periodo de inyección; se expresa generalmente en cm^3/s y es una medida de la rapidez con que puede llenarse un molde dado. La velocidad de inyección viene principalmente determinada por la velocidad de avance del pistón o husillo, y también se puede expresar como el número de veces por unidad de tiempo que el tornillo puede efectuar su recorrido completo de ida y vuelta cuando la máquina funciona en vacío, es decir, sin molde y sin material de moldeo. Naturalmente, esta característica de la máquina sólo depende de las demás características con que ha sido construida y en especial del tipo de sistema hidráulico utilizado.

En una situación real (con material y molde en la máquina) la velocidad de inyección del material en el molde dependerá de otros factores como la presión de inyección, la temperatura de la cámara de calefacción, las características del material utilizado y el camino que debe recorrer el polímero fundido hasta llegar a las cavidades de moldeo, principalmente.



Variables que intervienen en el proceso

Diversos autores consideran que en el proceso de inyección intervienen de forma directa o indirecta del orden de 200 variables diferentes. Sin embargo para simplificar, estas variables se pueden clasificar en 4 categorías; temperatura, presión, tiempo y distancia. Lamentablemente estas variables no son independientes, y un cambio en una de ellas afectará a las otras.

A continuación se comentan las más importantes.

Temperatura de inyección

Es la temperatura a la que se calienta el material para introducirlo en el interior del molde. La temperatura del material aumenta gradualmente desde que entra por la tolva hasta que se encuentra preparado para ser inyectado.

Esta temperatura es función del tipo de material, y no debe ser superior a la temperatura a la que comienza a descomponerse, pero debe ser suficientemente elevada para permitir que el material fluya correctamente. La fusión y homogeneización del material a lo largo de la cámara de plastificación.

Temperatura del molde

Es la temperatura a la que se encuentra la superficie de la cavidad de moldeo. Debe ser lo suficientemente baja para enfriar el material fundido y conseguir que solidifique. Esta temperatura varía a lo largo del molde y depende de varios parámetros (temperatura del fluido refrigerante, temperatura del material, características térmicas del molde, etc.), pero a efectos prácticos se evalúa como el valor medio a lo largo de toda la cavidad.

La velocidad a la que se enfría el plástico es un factor muy importante puesto que va a condicionar la morfología del material, y por tanto sus propiedades físicas, mecánicas y ópticas.

Presión inicial o de llenado

Es la presión que se aplica inicialmente al material fundido y que se desarrolla como consecuencia del movimiento hacia adelante del tornillo. Esta presión obliga a que el material fundido fluya hacia adelante, produciendo el llenado inicial del molde. En una situación ideal la presión inicial debe ser lo mayor posible, de modo que el llenado se produzca lo más rápidamente posible.



Presión de mantenimiento o compactación (holding pressure)

Es la presión que se aplica al final de la inyección del material, cuando el molde se encuentra casi completamente lleno. Se llama presión de mantenimiento o compactación, puesto que es la presión que se aplica durante la etapa de compactación, cuando algunas partes del material han comenzado a enfriarse y contraerse, y obliga a que el molde se acabe de llenar y se obtenga una pieza con una densidad uniforme.

Presión posterior o de retroceso (back pressure)

Es la presión que se aplica al tornillo mientras retrocede, una vez finalizada la etapa de compactación. Cuando el molde está completamente lleno el tornillo comienza a girar para plastificar más material para el siguiente ciclo. Este material comienza a alojarse delante del tornillo, obligando a que el tornillo retroceda, sin embargo no se permite que el tornillo retroceda libremente si no que se aplica una cierta presión posterior para conseguir que el material se mezcle y homogenice adecuadamente.

Tiempo de inyección inicial

El tiempo necesario para realizar la inyección depende de numerosos factores, como de cuanto material se está inyectado, su viscosidad, las características del molde y el porcentaje de la capacidad de inyección que se está empleando. En la mayoría de las máquinas el tiempo de inyección se divide en dos: el tiempo de inyección inicial y el tiempo de mantenimiento. El tiempo de inyección inicial es el tiempo necesario para que el tornillo realice el recorrido hacia adelante, obligando a que el material se introduzca dentro del molde. Normalmente este tiempo no es superior a 2 segundos, y rara vez excede los 3 segundos.

Tiempo de mantenimiento o compactación

El tiempo de mantenimiento o tiempo de compactación es el tiempo que, después de realizar la inyección inicial del material, el tornillo permanece en posición avanzada, para mantener la presión del material dentro del molde.

Este tiempo se prolonga hasta que la entrada a la cavidad de moldeo solidifica. A partir de ese instante la cavidad de moldeo queda aislada del resto del sistema mientras continúa enfriándose por lo que prolongar el tiempo que el pistón permanece en posición avanzada carecería de sentido. Para una pieza de 1.5 mm de espesor el tiempo de mantenimiento no suele exceder de 6 segundos.



Tiempo de enfriamiento

Es una de las variables más importantes para conseguir una pieza de buena calidad. Es el tiempo que la pieza requiere para enfriarse hasta que ha solidificado y además ha adquirido la rigidez suficiente para poder ser extraída del molde sin que se deforme. Las partes más externas de las piezas se enfrían a velocidad más rápidas. El tiempo de enfriamiento debe ser suficiente para que un espesor considerable de la pieza (al menos el 95% de la pieza) se encuentre frío para evitar que la pieza se deforme. Lógicamente cuanto mayor sea el espesor de la pieza que se está moldeando mayor será el tiempo de enfriamiento requerido. Como media una pieza de 1.5 mm de espesor requiere de 9 a 12 segundos para solidificar y adquirir suficiente resistencia para poder ser extraída del molde sin deformaciones.

Fundamentos del moldeo por inyección

En este apartado veremos todas las etapas por las que pasa el material desde que se introduce en la máquina hasta que se obtiene la pieza moldeada. En primer lugar se compara el comportamiento del material dentro de la cámara de plastificación con el comportamiento en una extrusora y a continuación se detalla el proceso de llenado del molde y enfriamiento del material dentro de la cavidad de moldeo.

Control de la temperatura en la cámara de calefacción

El comportamiento del material en una máquina de inyección es análogo al de extrusión, el calentamiento del material es muy similar, si bien existen algunas diferencias. En una extrusora el calentamiento del material tiene lugar por conducción del calor suministrado por los elementos externos de calefacción y por disipación viscosa debido al giro del tornillo. En las máquinas de inyección conforme el tornillo gira se acumula material fundido delante de la cámara de plastificación, y puesto que no se permite la salida continua del material por la tobera ni el retroceso libre del tornillo, este material se encuentra sometido a presión (*presión posterior* del tornillo). Al aumentar esta presión aumenta el trabajo que realiza el tornillo sobre el polímero fundido, lo que se traduce en un aumento de la temperatura del material. Por tanto para controlar la temperatura del material es preciso controlar la presión posterior del tornillo, además de la velocidad de giro y de la temperatura del cilindro de inyección.

En la figura 7.2 se muestra la influencia de la presión posterior que se aplica sobre el tornillo durante la plastificación del material sobre la temperatura que alcanza el polímero fundido. Al aumentar la



presión aumenta la temperatura del fundido y mejora notablemente la eficacia de plastificación y de mezclado del material.

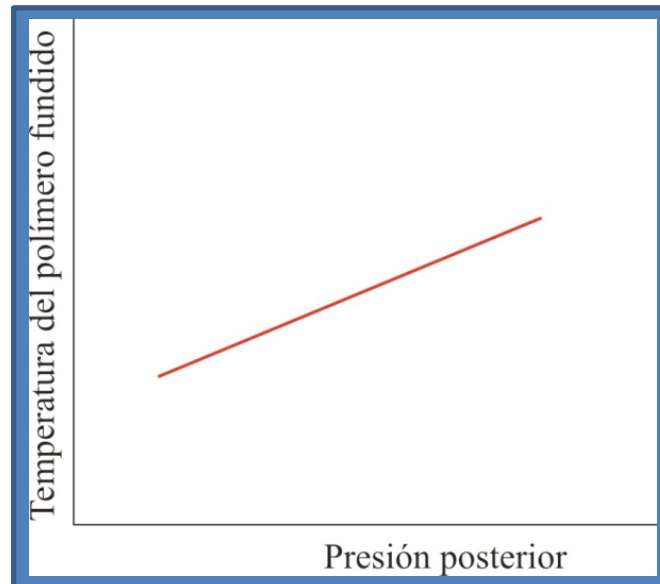


Figura 7.2. Efecto de la presión posterior del tornillo sobre la temperatura del polímero fundido.

La presión posterior que se ejerce sobre el tornillo se iguala a la que se crea delante del mismo, y por tanto, durante la etapa de plastificación equivale a la presión con la que el tornillo descarga material plastificado y que queda acumulando delante de él. Durante esta etapa el tornillo presenta unas líneas características o rectas operativas, que dependen de su diseño y de las variables de operación, de forma similar al tornillo de una extrusora. Sin embargo en el caso de la máquina de inyección debe tenerse en cuenta que un aumento de ΔP , supone un aumento de la temperatura, como se aprecia en la figura 7.2. Las variaciones de presión afectan en este caso, no solo al caudal de material descargado, si no también, a la temperatura del mismo. En consecuencia, para conseguir un control adecuado de la temperatura es preciso controlar todas las causas de calentamiento; los elementos externos de calefacción, el calor causado por el giro del tornillo y la presión posterior que se ejerce sobre el tornillo.



Comportamiento del material dentro del molde

Desde un punto de vista teórico, el flujo del polímero fundido en el moldeo por inyección resulta un problema reológico muy complejo. Se trata del flujo de un *líquido no newtoniano, compresible* y que fluye a través de canales de geometría complicada, cuyas paredes están mucho más frías que el polímero. En esta sección se describen detallada y cualitativamente las diferentes etapas por las que pasa el material desde que abandona la cámara de plastificación hasta que se extrae la pieza del molde, y del efecto de las principales variables sobre las propiedades de la pieza moldeada.

Las tres variables fundamentales que rigen el comportamiento del material dentro del molde son temperatura, presión y tiempo.

Las diferentes etapas que se van a mencionar se puede resumir de la siguiente forma. Se puede considerar que el ciclo de inyección comienza en el momento en el que el molde vacío se cierra y queda listo para la inyección del material. A continuación el husillo comienza a avanzar haciendo fluir al fundido, que sale a través de la tobera y recorre los canales de alimentación hasta que llena las cavidades de moldeo. Cuando el plástico fundido entra en el molde y toca las paredes relativamente frías de éste, la capa de fundido más externa en contacto con las paredes metálicas se enfría rápidamente, por lo que el artículo moldeado consiste en una corteza de polímero sólido que rodea a un núcleo fundido. Conforme se enfría, el material comienza a contraerse, por lo que el pistón de inyección debe permanecer un corto periodo de tiempo en posición avanzada para compactar el material y compensar la contracción que sufre al enfriarse. La presión máxima que puede mantenerse a través de la entrada a la cavidad dependerá del tamaño eficaz de ésta, de las dimensiones del núcleo fundido y de la fluidez del polímero dentro del molde. El punto de entrada a la cavidad de moldeo es generalmente la zona más estrecha del sistema, que presenta la máxima relación entre la superficie disponible para la transmisión de calor y el volumen de material que aloja, por tanto, es la primera zona donde el material solidifica. Una vez que la entrada a la cavidad solidifica, el pistón ya no es capaz de transmitir más presión dentro del molde, por lo que se le hace retroceder. Dentro del molde la capa fría de material va engrosando gradualmente hasta que el polímero solidifica completamente. La presión dentro de la cavidad disminuirá a medida que el polímero se enfría y se contrae. La presión variará con la temperatura del artículo moldeado, es decir, habrá una relación de estado entre la presión, el volumen y la temperatura de la pieza que se está enfriando, que va a determinar en gran medida la calidad de la pieza obtenida.

Una manera muy conveniente de analizar el ciclo de moldeo por inyección es medir la presión del material que ocupa la cavidad y ver como ésta varía con el *tiempo*. En la *figura 7.3* se muestra un diagrama típico presión/tiempo donde se pueden observar las etapas que se acaban de describir; llenado, compactación y enfriamiento. El origen de tiempos se toma en el momento en que se cierra



el molde.

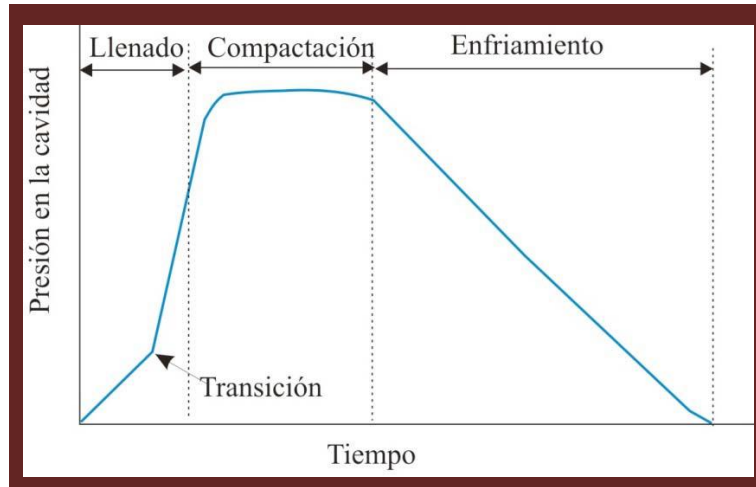


Figura 7.3. Presión en el molde durante un ciclo típico de moldeo.

A continuación se analizan con mayor detalle las tres etapas:

- 1) llenado de la cavidad,
- 2) compactación y
- 3) enfriamiento de la pieza.

Análisis de la etapa de llenado de la cavidad

La etapa de llenado comprende desde que el material entra en la cavidad hasta que comienza la fase de compactación. Los dos parámetros más importantes que intervienen en esta fase son la velocidad de inyección y la temperatura de inyección.

Flujo del material durante la etapa de llenado

En la figura 7.3 se representa la sección de un molde que se está llenando, junto con el perfil de velocidades del material en el frente de llenado y en 2 puntos detrás del mismo. Puesto que la superficie de los moldes está perfectamente pulida se puede suponer que el frente de llenado presenta un perfil de velocidades prácticamente lineal, como el que se muestra en la figura 7.3 conforme avanza el frente de llenado el material se enfría y aparece una capa de material solidificado sobre las paredes del molde, que recibe el nombre de *capa fría*. El material que circula cerca de la capa fría presentará una viscosidad elevada por lo que tiende a detenerse, pero es arrastrado por el material que sigue entrando al molde a gran velocidad. Cuando este material rebasa el límite de la capa fría, si su viscosidad es suficientemente elevada quedará retenido sobre



las paredes del molde provocando lo que se conoce como *efecto fuente* (que se aprecia en la figura 7.4) que origina una fuerte orientación de las moléculas.

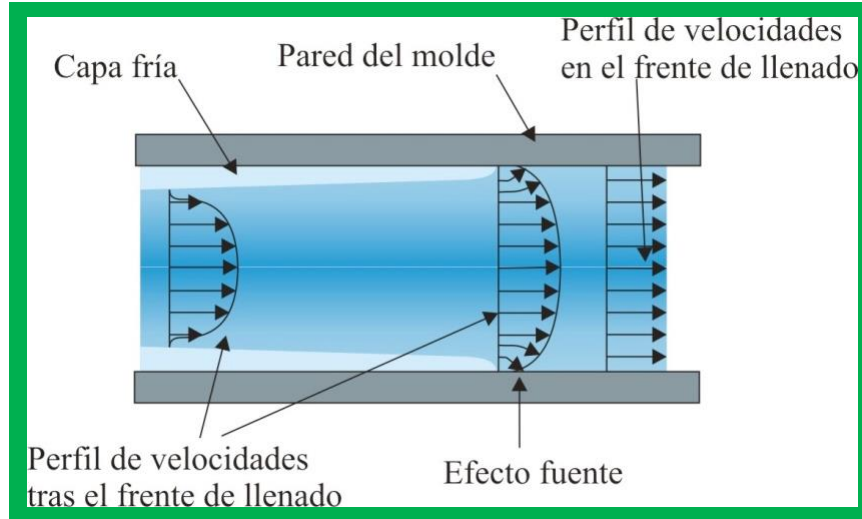


Figura 7.4. Perfil de velocidades en el frente de llenado y en 2 puntos por detrás del mismo en una sección del molde.

En la siguiente figura se representan los perfiles de la velocidad de flujo, gradiente de velocidad y temperatura a través de la capa fría y del núcleo fundido en una sección de un molde que se está llenando. En las cercanías de la capa fría el material se ve sometido a un gradiente de velocidad elevado, tal como se observa en la *figura 7.5* En una situación normal, la temperatura del material aumentará de forma progresiva desde la capa fría hacia el núcleo fundido. Sin embargo, si como consecuencia del gradiente de velocidad en el límite entre la capa fría y el núcleo, la cizalla es muy elevada, se puede producir un incremento local de la temperatura del material en esa zona, como se aprecia en la figura.



Figura 7.5. Perfil de velocidad de flujo, gradiente de velocidad y temperatura durante el llenado de un molde.

El espesor de la capa fría por detrás del frente de llenado no es constante. En la *figura 7.6* se muestra como varía el espesor de la capa fría para un molde rectangular de sección constante en función de la distancia a la entrada de la cavidad recorrida por el frente de llenado. Por lo general, el máximo porcentaje de capa fría se encuentra en el punto medio de la longitud recorrida, pues en la zona cercana a la entrada, el material se encuentra todavía a una temperatura elevada y fluye a una velocidad más o menos uniforme, de forma que la capa fría se mantiene en un espesor pequeño, mientras que en la última zona del recorrido el material del frente de llenado es renovado continuamente y se encuentra relativamente caliente.

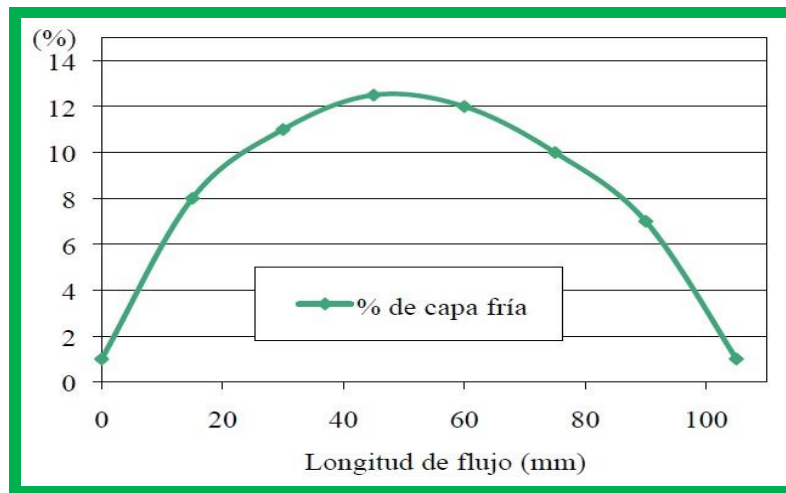


Figura 7.6. Porcentaje de capa fría en función de la longitud recorrida.

Determinación del tiempo óptimo de llenado

La velocidad de llenado del molde depende de la velocidad a la que avanza el pistón de inyección, que por lo general no es constante, sino que se encuentra parametrizada en una serie de intervalos para conseguir que el llenado de la cavidad sea lo más uniforme posible. El motivo es evitar que cuando el frente de llenado alcanza las zonas de paso más estrecho del molde se produzcan gradientes de velocidades excesivamente elevados en el seno del material. La velocidad de llenado al final del recorrido del pistón de inyección debe disminuir para conseguir que la transición entre la etapa de llenado y la de compactación sea adecuada.

Si el tiempo establecido de llenado es muy bajo (velocidad de llenado media muy alta), la presión de inyección necesaria para conseguir el caudal adecuado de material será muy alta. Igualmente si el tiempo de llenado es demasiado alto (velocidad media lenta) también se necesitará una presión de inyección elevada para conseguir llenar el molde, puesto que parte de la sección de los canales

habrá solidificado y la sección de paso del material puede haber disminuido mucho. Una presión de inyección elevada supone la necesidad de emplear fuerzas de cierre muy altas, lo que repercute sobre los costos y sobre la vida de la máquina y de los moldes. Por ello, la selección de la velocidad de llenado adecuada debe realizarse atendiendo a criterios de presión mínima de inyección.

Otro factor muy importante que afecta a la calidad de la pieza es la temperatura en el seno del material y entre diferentes partes del mismo. Sería deseable que entre diferentes puntos de la pieza no existiera una diferencia de temperatura demasiado grande, para evitar que éstos solidifiquen a velocidades muy diferentes, y por tanto, que existan diferencias importantes de densidad en la pieza. La temperatura del material que se encuentra llenando la cavidad es más alta en el punto de entrada y, en principio, va descendiendo conforme se aleja de la entrada, puesto que se va enfriando en contacto con las paredes del molde. Sin embargo también puede ocurrir que la temperatura del material aumente conforme se aleja del punto de inyección.

Esto puede suceder cuando los tiempos de llenado son muy bajos y hay zonas de paso muy estrecho, de modo que se produce una disipación de calor en el seno del material debido a las fricciones internas a las que está sometido.

En la *figura 7.7* se muestra la evolución de la presión de inyección y de la temperatura del material en la entrada a la cavidad y en un punto alejado de la misma en función del tiempo de llenado. En análisis de este tipo de curvas permite determinar los tiempos de llenado óptimos teniendo en cuenta los 2 criterios; mantenimiento de la presión de inyección necesaria en un mínimo (y por tanto la fuerza de cierre), así como mínima diferencia de temperatura entre diferentes partes de la pieza.

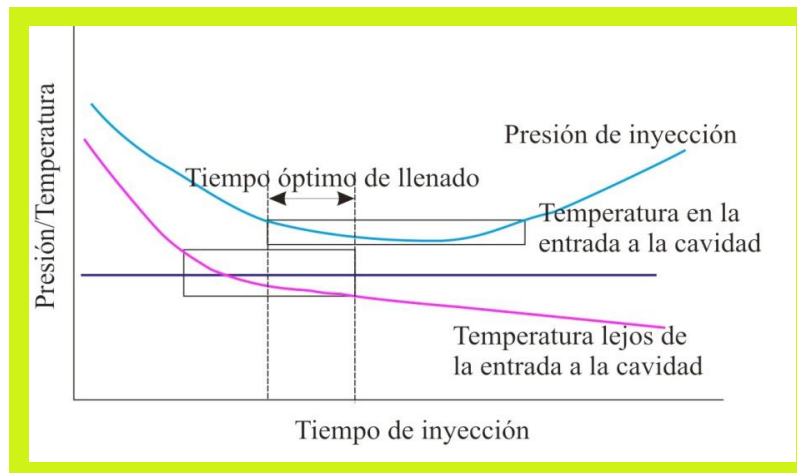


Figura 7.7. Determinación del tiempo óptimo de llenado en la cavidad en función de la presión de inyección y temperatura de la entrada a la cavidad y de un punto alejado de la misma.



Análisis de la etapa de compactación

Durante la etapa de compactación se añade el material necesario para acabar de llenar la cavidad, compensando los efectos de la contracción térmica que sufre el material durante su enfriamiento y solidificación. Durante esta fase se consigue evitar la presencia de aire atrapado y de rechupes así como minimizar la contracción final de la pieza y las deformaciones que algunas partes pudieran sufrir. La fase de compactación finaliza cuando la entrada a la cavidad solidifica, de modo que la máquina ya no puede transmitir la presión de compactación al interior de la cavidad.

La etapa de llenado se realizaba a una velocidad de avance del pistón elevada y por ello el control de esta etapa se realiza bajo “el control de la velocidad”. La fase de compactación se realiza sin embargo bajo el control de la presión. Durante esta etapa el tornillo de inyección se mantiene en posición avanzada, de modo que transmite una determinada presión, que puede ser variable, y en la mayoría de las máquinas se encuentra parametrizada en una serie de intervalos. La transición entre la fase de llenado y la de compactación debe realizarse de forma que se eviten picos de presión dentro de la cavidad, lo que provocaría la aparición de tensiones en las piezas.

Transición entre llenado y compactación

La transición entre las fases de llenado y compactación debe realizarse de manera suave. En la *figura 7.8* se muestran tres ejemplos de transición entre estas fases, efectuados a distintos tiempos. Si la transición se realiza demasiado pronto, una parte del llenado se realiza bajo el control de la presión, lo cual provoca una caída brusca de la misma (*figura 7.8a*). En consecuencia la pieza presentará defectos superficiales, rechupes y porosidad interna. Si por el contrario la transición se efectúa demasiado tarde (*figura 7.8b*), se produce un pico de presión dentro de la cavidad, que produce un retorno de material hacia la entrada del molde, lo cual genera orientaciones del material inadecuadas. En este caso suelen aparecer rebabas en el plano de partición del molde, así como sobreesfuerzos en la máquina y el molde, que pueden afectar a su vida útil. En la *figura 7.8c* aparece un ejemplo de transición adecuada, que favorece una evolución suave de la presión en la cavidad, que evita los defectos señalados.

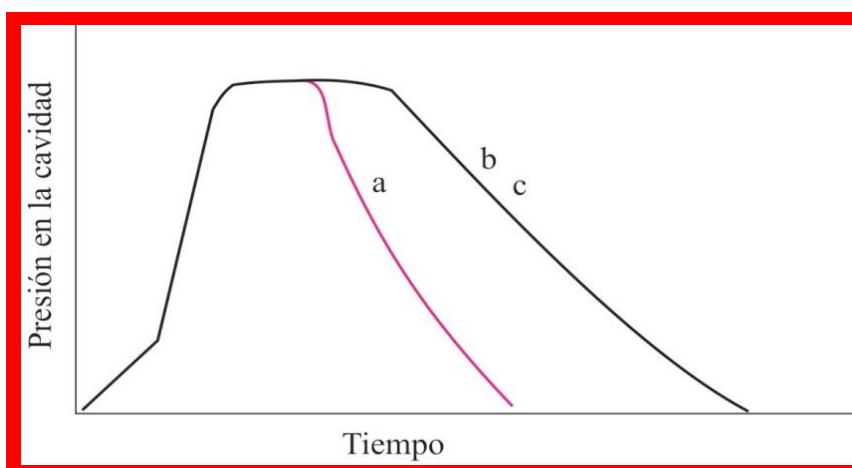
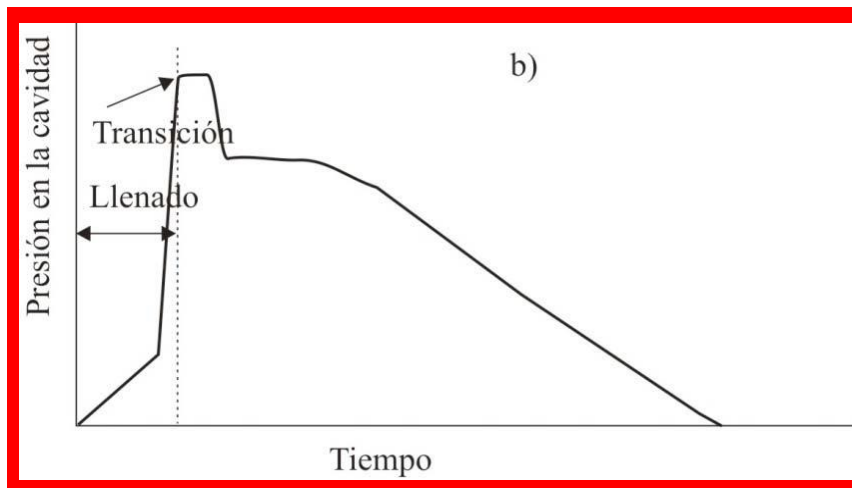
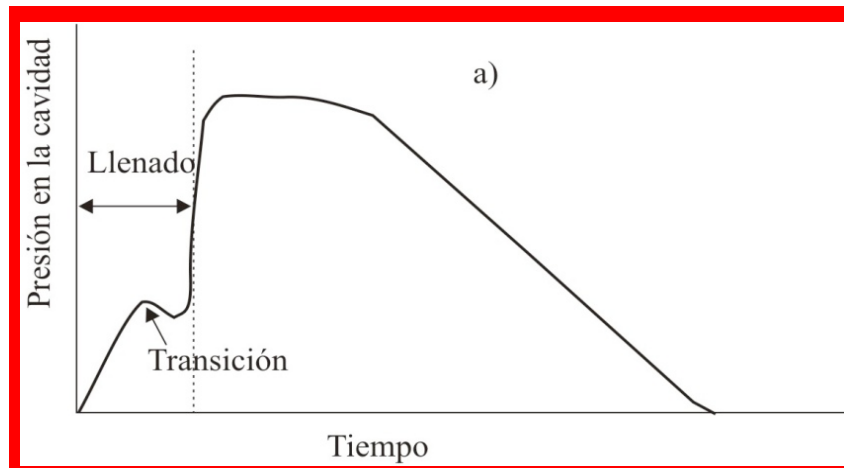


Figura 7.8. Transición entre la etapa de llenado y la de compactación.



Influencia de variables durante la fase de compactación

Como ya se ha dicho, la fase de compactación tiene la misión de comprimir el material para que las características del mismo sean uniformes en toda la cavidad, de modo que se eviten rechupes. Las principales variables que afectan a la calidad del material durante esta etapa son el tiempo, la presión y la temperatura de compactación, así como la temperatura del molde.

El tiempo de compactación influye en el perfil de presiones en la cavidad. Si el tiempo establecido para la compactación es demasiado bajo, la entrada del material no habrá solidificado aún y parte del material contenido en el molde fluirá hacia la cámara de calefacción, reduciéndose el peso final de la pieza, provocando la aparición de orientaciones en el material y favoreciendo la aparición de rechupes. En este caso se observará una disminución muy pronunciada de la presión en el momento en el que se retira el pistón de inyección. Por otra parte, si se mantiene la presión de compactación después de que la entrada a la cavidad haya solidificado, el efecto de dicha presión no se transmitirá a la cavidad. En este caso el único efecto será un aumento del consumo de la máquina y la ralentización del ciclo. En la figura 7.8 quedan reflejadas tres situaciones posibles en una curva presión-tiempo.

Para poder establecer el instante en que el material de la entrada solidifica, y por tanto el tiempo óptimo de compactación, existen principalmente dos métodos:

- Comprobación de la presión en la entrada de la cavidad. Mientras la entrada no haya solidificado la presión irá disminuyendo paulatinamente, de forma que cuando la entrada solidifica, la presión se mantiene constante.
- Determinación del peso de piezas obtenidas a diferentes tiempos de compactación. Se pueden realizar varios ciclos aumentando gradualmente el tiempo de compactación. Cuando se detecte que el peso de la pieza no varía se puede deducir que la entrada a la cavidad está sellada.

Otra de las variables que influye sobre la etapa de compactación es la presión de compactación. Si la presión de compactación se aumenta, el resultado es que el tiempo necesario para que se produzca la solidificación del material que ocupa la entrada será mayor.

En cuanto al efecto de la temperatura de inyección sobre el tiempo de compactación, se producen dos efectos que pueden llegar a compensarse: al aumentar la temperatura de inyección el material fundido del núcleo tiene mayor temperatura y menor viscosidad. Según esto el tiempo necesario para que la entrada a la cavidad se cierre aumentaría. Sin embargo un aumento de la temperatura de inyección permite reducir la presión de inyección necesaria, lo que supone que el tiempo de



compactación necesario disminuye.

El último factor que afecta a esta fase es la temperatura del molde.

Cuando la temperatura de las paredes del molde se incrementa, el material fundido se enfría más lentamente, y la entrada a la cavidad solidifica más tarde, alargando el tiempo necesario para la compactación.

Análisis de la etapa de enfriamiento

Una vez que la entrada a la cavidad ha solidificado la pieza queda aislada en el interior del molde, independientemente de si el tornillo se mantiene en posición avanzada o no. Al enfriarse el material aparecen dos efectos contrarios y simultáneos. Por un lado, como consecuencia del enfriamiento tiene lugar un aumento de la densidad del material, lo que supone la contracción del mismo; por otro lado, al disminuir la temperatura disminuye la presión a que está sometido el material, y esto tiende a permitir la expansión del material, con el consiguiente aumento de volumen de la pieza moldeada (disminución de densidad del material). Estos dos efectos tienen lugar simultáneamente y se deben compensar de tal manera que el volumen de la pieza moldeada se mantenga constante. En el momento en que se abre el molde, las piezas moldeadas deben estar libres de defectos, deben llenar totalmente la cavidad del molde, y finalmente su temperatura debe ser tal que no sufran deformación alguna cuando se extraigan. Teniendo en cuenta lo anterior, la relación entre presión, temperatura y densidad en el momento de abrirse el molde seguirá uno de los tres caminos siguientes:

- a) La presión ha disminuido hasta ser prácticamente nula, y al disminuir ha compensado exactamente la contracción originada por el enfriamiento de la pieza moldeada, de manera que el volumen de ésta es adecuado y se extrae de la cavidad fácilmente. Esta es la situación ideal que debe buscar el moldeador para obtener piezas de la calidad máxima.
- b) En el momento de abrir el molde queda aún cierta presión residual sobre la pieza moldeada que permite una última expansión de la pieza dentro de la cavidad. Esto origina que la pieza se ajuste contra las paredes de la cavidad, dificultando la extracción. Es frecuente también que cuando la pieza no está limitada por el molde sufra una dilatación, modificando sus dimensiones y presentando esfuerzos internos indeseables.
- c) El último caso que puede presentarse es que la presión en el material que llena la cavidad del molde se anule antes de que la temperatura disminuya hasta su valor previsto para la extracción. En este caso el efecto que subsiste es el de contracción de la pieza hasta que se enfría a la

temperatura de extracción. Esto da lugar a la aparición de ampollas o burbujas, bien en la superficie de la pieza moldeada, bien en el interior de dicha pieza (cavitación).

La velocidad de enfriamiento y por tanto, la temperatura del molde, juegan un papel muy importante en esta etapa. Mientras la pieza está enfriándose en el interior del molde las paredes de la cavidad inhiben las contracciones y deformaciones que pueda sufrir la pieza. Puesto que la pieza no puede deformarse libremente, en su lugar se generan tensiones internas que se acumulan en el seno del material. Parte de estas tensiones se liberan cuando la pieza se desmolda y se deforma libremente, pero otra parte quedan acumuladas en el material, afectando a sus características y comportamiento mecánico, químico, y a las dimensiones finales de la pieza. Las condiciones de enfriamiento son, además, muy diferentes en el interior del molde y en el exterior. En el interior del molde predomina fundamentalmente el mecanismo de conducción, mientras que la pieza una vez desmoldada se enfría por convección, con lo que la velocidad de enfriamiento es mucho más baja.

Si existe una diferencia muy grande entre la temperatura del molde y la temperatura ambiente, la pieza una vez expulsada se encuentra todavía a temperatura elevada y se enfría con lentitud, por lo que se ve sometida a un efecto de relajación de tensiones, que favorece la deformación de la pieza.

La velocidad de enfriamiento también condiciona al grado de cristalinidad alcanzado por el material; cuanto menor sea la velocidad de enfriamiento mayor cristalinidad desarrollará el material, ya que se permite al material ordenarse y cristalizar más durante la solidificación. Lógicamente, dentro de una sección de la cavidad, la velocidad de enfriamiento es distinta y depende de la distancia que existe entre el punto considerado y la pared del molde. Esto provoca que el grado de cristalinidad sea variable dentro de la misma sección, lo que favorece la aparición de tensiones entre distintas partes de la pieza.

Análisis del proceso a partir de curvas p-v-t

La *figura 7.9* muestra como varía el volumen específico de un polímero semicristalino en función de la temperatura para diferentes presiones (diferencias de presión con la atmosférica). Como es sabido mientras el material permanece fundido el volumen específico disminuirá paulatinamente conforme el material se enfría. Cuando el material alcanza la temperatura de cristalización se produce una disminución muy acentuada del volumen específico (aumento de la densidad) como consecuencia de la cristalización del material. Cuando el proceso de cristalización finaliza, el volumen específico disminuye otra vez progresivamente al enfriarse el material. Al ser los polímeros fundidos muy compresibles, cuanto mayor sea la presión a la que está sometido el material, menor será el volumen específico del mismo.



Estas curvas proporcionan información muy valiosa sobre la evolución de las características del material durante el proceso, ya que sobre las mismas se puede trazar el ciclo de inyección desde que el material entra en el interior de la cavidad hasta que se extrae la pieza.

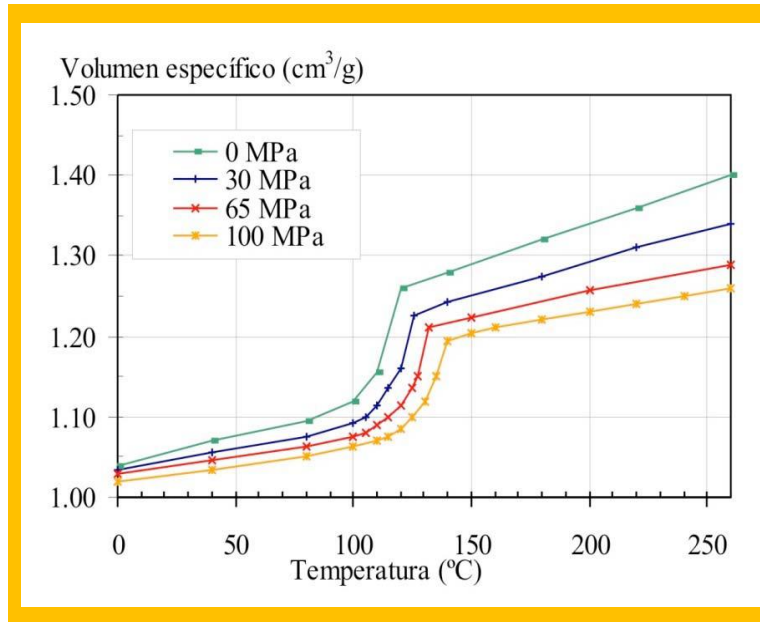


Figura 7.9. Curva PVT para un material semicristalino.

En la *figura 7.10* se muestra la evolución de la presión y de la temperatura en el interior de la cavidad. Entre los *puntos 0 y 1* tiene lugar el llenado de la cavidad, en el caso de la figura que se muestra el llenado se produce a 240°C. Durante el llenado la presión en la cavidad aumenta rápidamente (desde 0 MPa hasta un valor comprendido entre 30 y 65 MPa) mientras que el material apenas se enfría. Durante la fase de compactación (*puntos 1 a 2*) la presión en el interior del molde prácticamente no varía puesto que el tornillo permanece en posición avanzada introduciendo material para compensar la contracción, de modo que el material todavía en estado fundido evoluciona por una isoentálpica mientras se enfría. Entre los *puntos 2 y 3* el material cristaliza, mientras continúa la fase de compactación. Una vez que el material solidifica (*punto 3*) el pistón de inyección puede retroceder puesto que la entrada a la cavidad queda cerrada. A partir de este momento el material queda aislado en el interior del molde mientras continúa enfriándose.

Simultáneamente disminuye la presión a que está sometido, consecuencia lógica de la disminución de la temperatura, por lo que el material evoluciona desde el *punto 3* al *punto 4*. Una vez que la presión se ha igualado a la presión atmosférica, y que el material se encuentra suficientemente frío, se puede desmoldar la pieza sin riesgo de que se deforme.

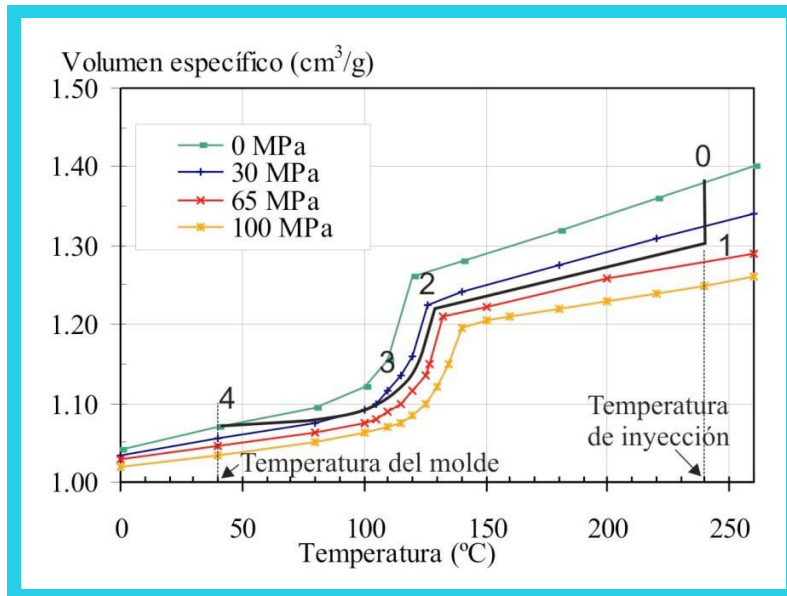


Figura 7.10. Curva PVT mostrando las etapas de moldeo.

El punto en el que la presión alcanza el valor 0 (presión atmosférica) es fundamental para evaluar la contracción del material, y en consecuencia, las dimensiones finales de la pieza. La calidad de la pieza será óptima cuando se obtenga la mínima diferencia entre el valor del volumen específico en el momento en el que la temperatura se iguala a la del molde y la presión se iguala a la atmosférica. La evolución mostrada en la *figura 7.10* es adecuada, ya que la simultaneidad entre la disminución de la temperatura y la caída de presión da como resultado un volumen específico adecuado a temperatura ambiente. Esto supone que gran parte de la contracción de la pieza ha sido compensada con material fundido inyectado.

Defectos comunes en piezas inyectadas

Sobre los diagramas PVT es fácil comprobar la influencia de parámetros tales como la temperatura de inyección, presión de compactación, tiempo de compactación y temperatura del molde.

En la *figura 7.11* se muestra una curva para una pieza en la que la etapa de compactación ha sido demasiado corta. En este caso el punto en que se alcanza la presión atmosférica tiene un volumen específico elevado. La contracción que sufre el material es función de la diferencia de volúmenes específicos entre el punto en el que se alcanza la presión atmosférica (*punto 3*) y el punto en el que la pieza alcanza la temperatura ambiente (*punto 4*). En este caso la contracción se verá notablemente acentuada.

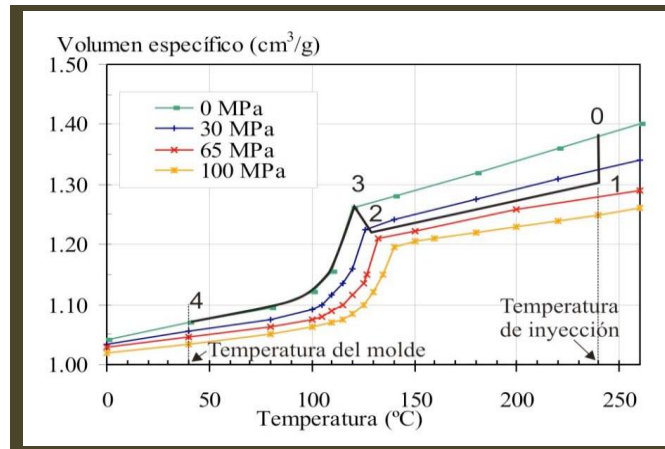


Figura 7.11. Curva PVT mostrando la evolución de una pieza en la que el tiempo de compactación ha sido demasiado corto.

En la *figura 7.12* se muestra otro ejemplo. Como se ha comentado, en el caso de piezas moldeadas con secciones gruesas, el enfriamiento del material queda limitado a la superficie en contacto con el molde, por lo que se produce de forma muy defectuosa. Cuando la entrada a la cavidad solidifica, la temperatura media del material es elevada, y lo más probable es que la presión del material en el interior de la cavidad se anule antes de que la temperatura media disminuya hasta la temperatura de extracción, dando lugar a la contracción de la pieza. Este efecto se observa en la *figura 7.12*. Para contrarrestar este efecto y obtener piezas sin ampollas y con la densidad debida, se podría emplear una presión de inyección mayor y disminuir la temperatura de inyección.

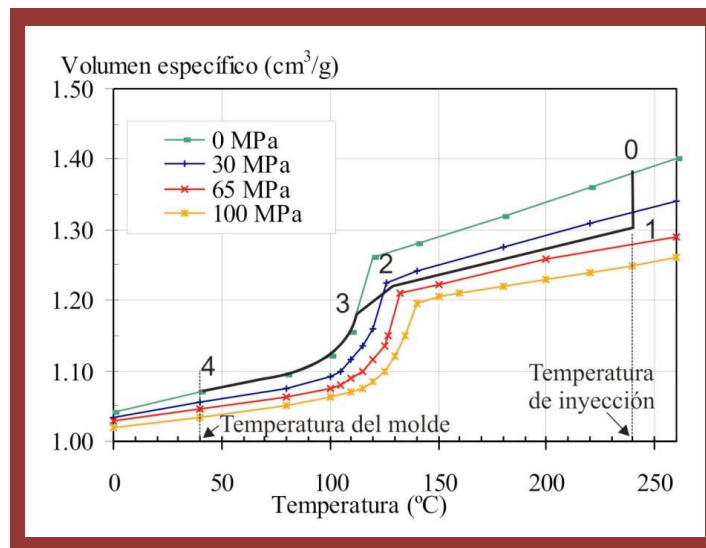


Figura 7.12. Curva PVT mostrando la evolución de una pieza en la que el enfriamiento es defectuoso.

En el caso de piezas moldeadas con secciones delgadas el material inyectado en la cavidad se enfría rápidamente cuando entra en contacto con las paredes frías del molde. Cuando la entrada a la cavidad solidifica la temperatura media del material es baja, pero la presión ejercida puede ser todavía grande. En consecuencia cuando se alcanza la temperatura de extracción, lo más probable es que la presión aún no se haya anulado, dando lugar al "agarrotamiento" de la pieza en el molde. Las posibles soluciones cuando se trata de moldes sencillos son disminuir la presión de inyección, o bien disminuir el tiempo que el émbolo pasa en posición avanzada. De ambas formas se podría conseguir eliminar la presión residual. En el caso de moldes de geometría compleja el problema podría resolverse reduciendo la entrada de las cavidades o mediante el empleo de válvulas especiales, etc.

Un problema típico en moldes que tienen entradas pequeñas o mal situadas, ocurre cuando el primer material se inyecta a una velocidad excesivamente grande. En estos casos esta porción inicial de material se enfría muy deprisa, dificultando la entrada del resto del material, con el que no llega a soldar, siendo perceptible las líneas de flujo y de unión entre el material inicial y el resto.

Otro fenómeno muy corriente es la formación de *líneas de soldadura*.

Cuando se llena un molde la entrada del material se produce siguiendo un frente de flujo que habitualmente encuentra una serie de obstáculos que frenan o favorecen su avance. Cuando dos frentes de flujo están excesivamente fríos puede ocurrir que no suelden bien, produciéndose las líneas de soldadura (*figura 7.13*).

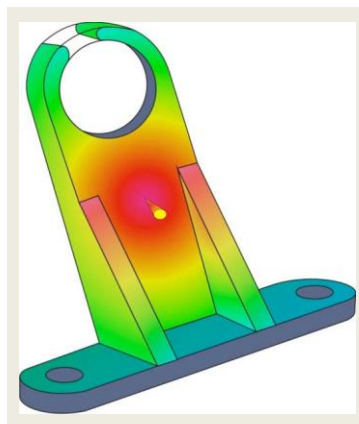


Figura 7.13. Formación de líneas de soldadura.

La aparición de *orientaciones o tensiones congeladas* dentro del material también es frecuente. Las tensiones congeladas y formación de capas orientadas se producen como consecuencia del flujo de material una vez que la cavidad del molde se ha llenado y el pistón de inyección permanece en

posición avanzada introduciendo más material. Parte del material se encontrará ya formando una capa rígida y fría, mientras que el material que acaba de incorporarse a la cavidad continúa caliente y en movimiento y entra en la cavidad prácticamente a la máxima presión de inyección. Las fuerzas de fricción entre estas capas son muy altas, especialmente en las zonas cercanas a las paredes, y dan lugar a esfuerzos o tensiones de cizalla que tienden a orientar al polímero en la dirección del flujo.

Las fuerzas moleculares internas pueden llegar a albear las piezas si la temperatura de desmolde no es suficientemente baja para congelar estas tensiones. Si se aumenta la temperatura del molde pueden reducirse las tensiones internas, puesto que al disminuir la velocidad de enfriamiento las moléculas orientadas pueden relajarse. Un fenómeno frecuente asociado con las tensiones congeladas es el "glaseado o crazing". Con este término se denomina a la aparición de un cuarteamiento superficial, es decir, la formación de pequeñas y numerosas grietas en la superficie del plástico que no se desarrollan hacia el interior.

Pruebas de inyección

Primeras Pruebas



a)

b)

Figura 7.14. Pruebas de piezas inyectadas.

En la figura 7.14a se aprecia la primera pieza inyectada, la cual muestra algunos excesos de material en los contornos, ocasionados por un empalme incorrecto, y en la figura 7.14b se puede ver una pieza que se va corrigiendo poco a poco con las correcciones necesarias en el molde.

Es fundamental que una vez inyectando el plástico este obtenga la forma requerida, y al manufacturar los moldes logramos empalmar las piezas correctamente a pesar de que se realizó el proceso de una forma casi artesanal.



Figura 7.15. Molde.

Como se aprecia en la imagen el molde cubre las características esperadas sacando material por los respiraderos e indicándonos que el plástico fluyo correctamente por toda la cavidad requerida.



Figura 7.16. Desmolde de tapas.

Al desmoldar nos percatamos que la pieza queda en perfectas condiciones imprimiendo la figura deseada.

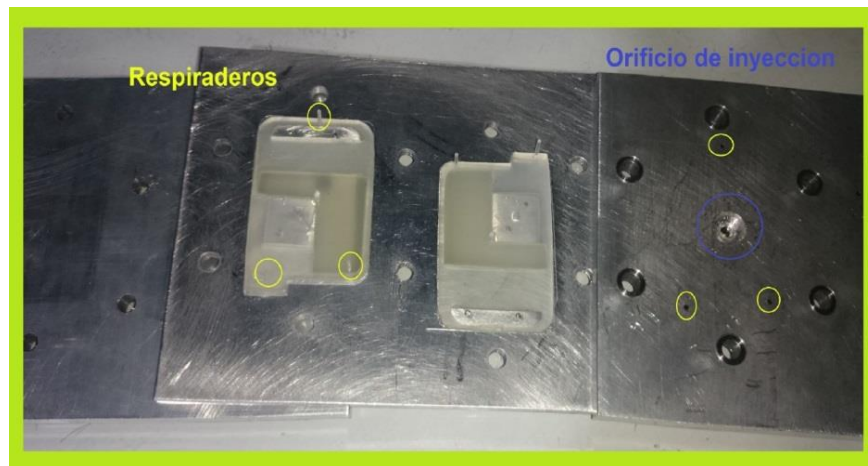


Figura 7.17. Tapas.

Los orificios de respiración, ubicados estratégicamente en el molde nos indican que la impresión se lleva a cabo correctamente.

Prueba de algunos plásticos



Figura 7.18. Fundición de polipropileno.

En la imagen se puede apreciar la fundición del polipropileno mezclando algunos pigmentos que cubren ciertas características de luminosidad y se aprecia desde su fundición.



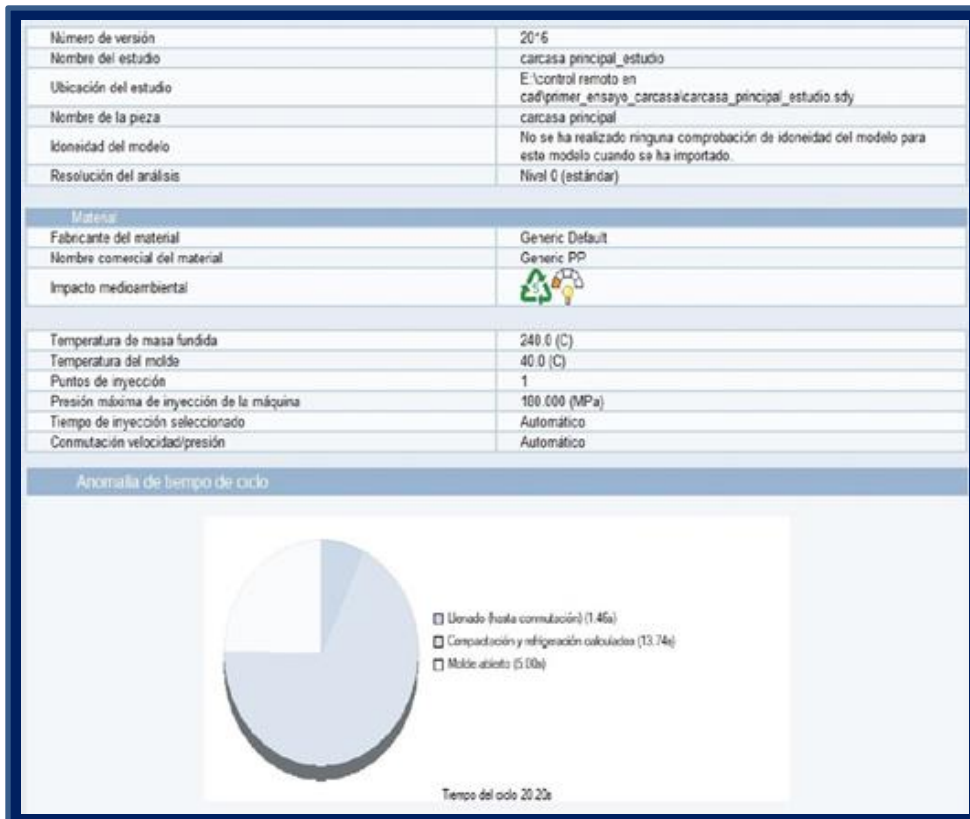
Figura 7.19. Materiales fotoluminiscentes.

La aplicación de algunos materiales fotoluminiscentes en el polipropileno nos da como resultado una apariencia muy satisfactoria, del lado derecho los pigmentos en presentación de Mezcla Madre (Master Batches).



Mejoras en la carcasa

En este punto ya nos apoyamos de un software llamado MOLDFLOW el cual nos muestra algunos parámetros durante la inyección del material y nos va guiando el comportamiento de este.



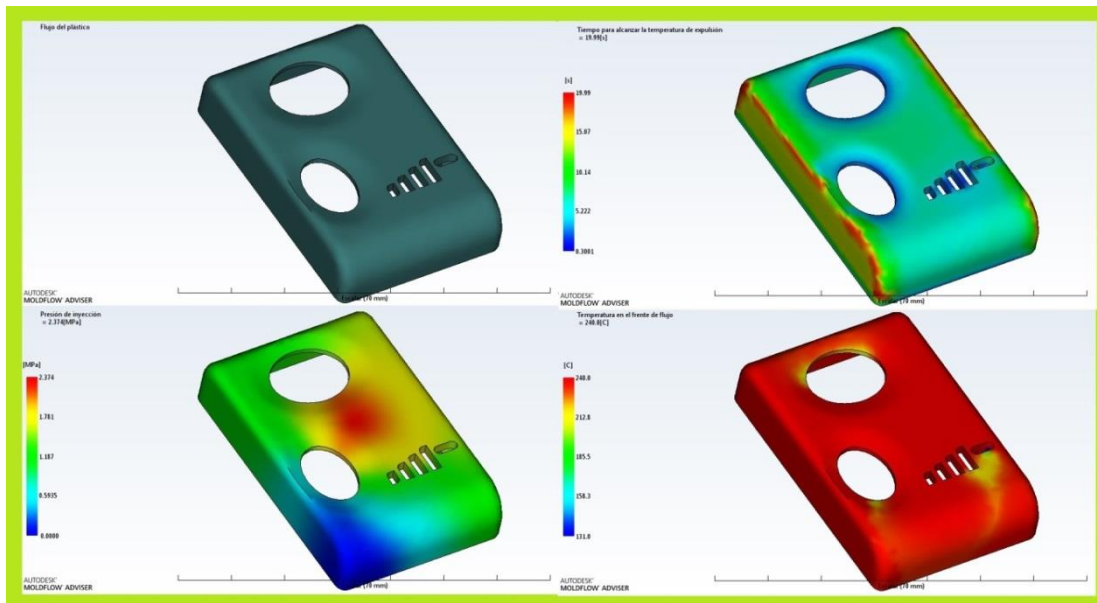


Figura 7.20. Diseño realizado en MOLDFLOW de la carcasa final a utilizar.



Resultados Esperados y Obtenidos

El desarrollo teórico y experimental de los fundamentos científicos y de ingeniería aprendidos durante la carrera, respaldado con software de diseño y simulación, en la aplicación funcional de un prototipo que sea capaz de alcanzar una etapa posterior de manufactura y fabricación como un producto electrónico de alto valor agregado ha sido la meta que nos hemos propuesto inicialmente considerando todos los parámetros, requerimientos y normas que se exigen en la implementación de sistemas de ingeniería teniendo como pauta un enfoque interdisciplinario que nos permitiera llevar a cabo operaciones propias de diversos campos y disciplinas

La integración de las ingenierías eléctrica, mecatrónica y mecánica, es frecuente en el diseño fabricación y mantenimiento de productos y procesos especializados de manufactura, el resultado es obtener un producto físicamente operable.

Finalmente después de llevar a cabo todo lo anterior mencionado, se obtuvo los modelos finales de alarmas. En la colonia se colocaron 4 alarmas vecinales y se entregaron aproximadamente 5 controles por cada una de ellas, pero se espera entregar más.





Conclusiones

Decidir realizar este proyecto fue sencillo, pero llevarlo a cabo fue un proceso muy largo y desgastante, ya que no fue únicamente el diseño de la alarma, sino también tuvimos que organizar a la gente.

Realizamos varias reuniones con los vecinos en las que se acordó que primero había que diseñarlas y manufacturarlas, luego instalarlas y finalmente como actuar al activarlas. En el diseño y la manufactura nos tardamos mucho tiempo, ya que tuvimos que realizar una gran investigación sobre el tema. En la electrónica, la principal complicación fue la radiofrecuencia, ya que entre el emisor y receptor nos costó mucho que nos diera una buena distancia, esto lo resolvimos a prueba y error, usando una gran gama de configuraciones en cuanto a las antenas ya que no logramos conseguir un equipo para analizar la frecuencia de 433 Mhz.

La manufactura del control remoto fue lo más complejo ya que no se podía mandar hacer, esto es un proceso que sale muy caro y dinero es lo que menos teníamos. Pero disfrutamos muchísimo estas complicaciones, las cuales se convirtieron en retos a superar, tan solo el hecho de conseguir los materiales necesarios para hacer las cosas lo mejor posible, fueron situaciones que en cierto momento estaban en nuestras manos, pero aparte de las situaciones que nosotros podíamos controlar, se sumaba el aspecto de la reeducación con los vecinos, el cual es un aspecto al que le dimos de uno a dos meses de prueba, tomando en cuenta que las personas al tener un objeto en su mano (como en este caso es el control remoto), tienden a estar apretando el botón de encendido solo por la curiosidad del funcionamiento, con este acto solo podrían hacer que el sistema perdiera su eficiencia, basada en la unión de todos los vecinos y perdiendo credibilidad a los actos de importancia, para generar desinterés, esto se manejó muy cautelosamente, entregando tandas de 5 controles e informando y concientizando a la gente de la seriedad y responsabilidad de portar estos.

El hacer posible un sistema que de primera instancia solo se idealizó en nuestros pensamientos y posteriormente se cristalizó en un producto real, tangible y único (en cuanto a nuestro diseño), sumando el hecho del hacer que la comunidad participe y esta participación se vea reflejada en un beneficio común, genera una gran satisfacción, y nos hace ver que nuestra formación en la Facultad de Ingeniería ha sido lo mejor que nos pasó en la vida.

En este momento las alarmas instaladas dependen de la c.a, si llegase a ir la luz, las alarmas quedan inoperables, es por eso que ahora estamos diseñando el cargador de baterías para cubrir este elemento faltante.

Los compañeros estamos muy satisfechos con los resultados obtenidos, las alarmas están instaladas y cubren el margen de área que esta comunidad necesita. Lo mejor de esto es que cada alarma está compuesta por módulos y si por algún motivo alguno de estos módulos se dañara, su



reparación sería muy accesible y sencilla. A futuro esto es lo que queremos resaltar para ofrecer este producto al mercado.

Este sistema de las alarmas tiene apenas un año de estar operando y en este tiempo ya hemos percibido resultados muy satisfactorios debido a que se han evitado algunos intentos de robo menores, se ha evitado el robo de dos automóviles y se atrapó a dos delincuentes en sucesos distintos. Hasta el momento el sistema ha sido efectivo y reflejo de esto es la disminución de la delincuencia en la zona.

La aceptación del sistema en la gente ha originado que entre los vecinos haya mejor acercamiento y comunicación, aunado a esto se organizan guardias en varios puntos de la colonia en horarios nocturnos con la finalidad de protegerse entre ellos y con estas alarmas la comunidad ya no siente tan desprotegida.

Estamos conscientes que no es la solución ante la delincuencia, pero si un apoyo a la prevención del delito, ya que usando la psicología del delincuente en un acto delictivo este no pretende que lo observen para después ser identificado, entonces al activarse el sistema la gente sale y esto lo hace un método persuasivo.



Bibliografía

- [1] Más información en www.semaforo.mx y en México Unido Contra la Delincuencia www.mucd.org.mx
- [2] HAGEN Jon. *Radiofrequency electronics: Circuits and applications*. Editorial Cambridge University Press.
- [3] OGATA Katsushiko *Ingeniería de control moderna, 4ta Edición*, Pearson Education.
- [4] TOMASSI Wayne – *Sistemas de comunicaciones electrónicas*.
- [5] <http://www.fceia.unr.edu.ar/~fisica3/Telecomunicaciones.pdf>
- [6] TOKHEIM Roger - *Electrónica Digital Principios y aplicaciones*. Edit McGraw Hill.
- [7] BOYLESTAD Robert, “*Electrónica: Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos*”.
- [8] HERNANDEZ RUEDA José Abel, *Antenas: Principios básicos, análisis y diseño*.
- [9] Douglas M. Bryce, “*Plastics Injection Molding. Manufacturing Process Fundamentals*”, SME. Dearborn, 1996.
- [10] HANDBOOK on the Investment Casting Process, AFS/ICI, 1982.
- [11] INVESTMENT Casting Waxes, ICI, 1988.
- BOLTON Bill “*Mecatrónica: Sistemas de control de electrónica en la ingeniería mecánica y eléctrica*”. 3ª Edición Editorial Alfaomega.
- CARR Joseph, “*RF Components and Circuits*”. Edit. NEWNESS.
- CARR Joseph “*Practical antenna Handbook*”. Edit. McGraw-Hill.
- COOUGHLIN Robert F. *Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales*. Prentice Hall.
- MALONEY Timothy *Electrónica industrial moderna*. PEARSON Educación.



BENCHIMOL Daniel - Microcontroladores, funcionamiento, programación y usos prácticos.

GALLARDO Vázquez Sergio Elementos de sistemas de telecomunicaciones.

HERBERT Rees, "Understanding Injection Molding Technology", Hanser Publishers, New York, 1994.

I.I. RUBIN, "Injection Molding. Theory and Practice", Wiley, Interscience, New York, 1972.

F. JOHANNABER, "Injection Molding Machines. A User's guide", Hanser Publishers, 1983.

MICHAEL L. Berins, "Plastics Engineering Handbook", Van Nostrand, Reinhold, New York, 1991.
Ramón Anguita Delgado, "Moldeo por Inyección", Ed. Blume, 1975.

D.V. ROSATO & D.V. Rosato, "Injection Molding Handbook", Kluwer, Academic Publishers, 2nd ed., Boston 1995.

<http://www.collectionscanada.gc.ca/obj/s4/f2/dsk3/SSU/TC-SSU-07022006160413.pdf>

<http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=9565>

Anexos

Ficha técnica de la masilla epóxica



INFORMACIÓN TÉCNICA

KLIPTON PLAST

1.0 DESCRIPCIÓN:

La plastilina epóxica **KLIPTON PLAST** es una masilla epóxica de dos componentes (**Klipton Plast "A"** y **Klipton Plast "B"**), que al mezclarse entre sí forman un sólido con excelentes propiedades fisicoquímicas.

La plastilina **KLIPTON PLAST** no es atacada por ácidos y álcalis una vez endurecida. Es recomendable para efectuar decoraciones, artesanías, modelos en general, etc.

2.0 ESPECIFICACIONES:

	Plast A	Plast B
Color, visual	Blanca	Blanca
Estado físico,	Semisólido	Semisólido
Vida en almacén, meses.	12	12

HYSOL INDUSTRIAL DE MÉXICO S.A. DE C.V.

RELACIÓN DE MEZCLA:

Klipton Plast A	100.0 Partes en peso
Klipton Plast B	100.0 Partes en peso
Tiempo de manejo a 25° C, min.	70
Curado a 25° C, hrs	24

3.0 FORMA DE APLICACIÓN:

- Limpiar perfectamente las superficies que se van a pegar o a reparar de manera que queden libres de contaminantes como, óxido, suciedad, partículas sueltas, etc. Se recomienda usar un abrasivo como papel de lija para eliminar irregularidades y abrir porosidad además de un desengrasante como acetona o percloroetileno.
- Pesar cantidades iguales de parte "A" y de parte "B", mezclar perfectamente amasando hasta que se homogenizen por completo las dos partes y se obtenga un color gris uniforme.

28 de mayo de 2009



- Para obtener una superficie tersa, mojar las manos con agua y frotar ligeramente sobre el sistema **KLIPTON PLAST** hasta borrar huellas de los dedos u otro objeto utilizado en la decoración.

4.0 PRECAUCIONES:

La **KLIPTON PLAST** no es dañina para la piel, sin embargo puede provocar reacciones alérgicas en algunas personas. Se recomienda el uso de guantes látex o bien lavarse las manos con agua y jabón después de haber tenido contacto con el producto. Almacénese en un lugar fresco y seco.

5.0 DISPONIBILIDAD:

Se encuentra disponible en barras de 1 Kg.

NOTA IMPORTANTE:

La información presentada en este boletín ha sido medida en nuestro laboratorio y se considera verdadera, pero no se recomienda su uso en la elaboración de especificaciones, dado que la aplicación final queda fuera de nuestro control

HYSOL INDAEL DE MÉXICO S.A. DE C.V.

26 de mayo de 2009



Ficha técnica de los materiales para el pulido de la pieza de Zamak

Zamak grado 3

Introducción.

La aleación Zamak fue creada por New Jersey Zinc Company en la década de 1920, su nombre es un acrónimo alemán de los materiales que componen la aleación: **Z**ink (Zinc), **A**luminium (Aluminio), **M**agnesium (Magnesio) y **K**upfer (cobre).

La aleación más comúnmente usada de ZAMAK en Europa es ZAMAK-5, en EEUU y China es ZAMAK-3, pero ZAMAK-2 y ZAMAK-8 también se fabrican y su uso es bastante extenso. La norma española que regula la composición química de Zamak es la UNE-EN 1774. La norma que especifica las propiedades de piezas fundidas en Zamak es la UNE-EN 12844.

Zamak grado 3

Es la aleación más usada en la industria, el zinc de fundición. Tiene excelentes propiedades físicas y mecánicas, buena capacidad de moldeo y estabilidad dimensional a largo plazo. También ofrece excelentes características de acabado para los tratamientos de cromato, pintura y recubrimiento.

La siguiente sección ofrece una visión general de zamak grado 3.

Composición Química

La composición química del grado de aleación de zamak 3 se resume en la siguiente tabla.

Elemento	Contenido (%)
De aluminio, Al	03.08 a 04.02
De cobre, Cu	02.07 a 03.03
El magnesio, Mg	0,035-,06
Hierro, Fe	0.02
Silicio, Si	0.02
El plomo, Pb	0,003
El cadmio, Cd	0,003



Estaño, Sn	0,001
Níquel, Ni	0,001

Propiedades Físicas

La siguiente tabla muestra las propiedades físicas del zamak grado 3 aleación.

Propiedades	Métrico
Densidad	6,6 g / cm ³
Punto de fusión	381-387 ° C

Propiedades Mecánicas

Las propiedades mecánicas de zamak grado 3 se muestran en la siguiente tabla.

Propiedades	Métrico
Resistencia a la tracción	268 MPa
Límite elástico	208 MPa
Módulo de elasticidad	96 GPa
El coeficiente de Poisson	0.27
Alargamiento de rotura	10%
Dureza Brinell	82



Propiedades térmicas

Las propiedades térmicas de zamak grado 3 de aleación se dan en la siguiente tabla.

Propiedades	Métrico
La expansión térmica coeficiente (@ 100-200 ° C / 68 a 212 ° F)	27,4 m / m ° C
Conductividad térmica	113 W / mK



Ficha técnica del Suaren No. 8

SAUEREISEN

ELECTROTEMP CEMENT NO. 8

Aislamiento eléctrico superior para:

- Accesorios
- Hornos
- Elementos de calefacción
- Ensamblado de lámparas
- Resistores

Sauereisen Electrotemp Cement No. 8 es usado principalmente donde el alto aislamiento eléctrico y conductividad térmica son requeridos. El cemento No. 8 se cura por medio de un set químico y es ideal para aplicaciones de recipientes sujetos a alta temperatura y/o choque térmico. Formulado con una base de Zirconio, el cemento es no corrosivo y compatible para aplicaciones con cerámicos, vidrio y la mayoría de los metales. El material es suministrado en forma de polvo y solo necesita ser mezclado con agua.

Características

- Provee máxima resistencia eléctrica
- Conductor de calor y resistente al shock térmico
- Soporta temperaturas hasta 2800°F (1,426°C)
- Fácil de mezclar y aplicar
- Set químico
- Sin olor

Aplicación

El cemento de electro temperatura Sauereisen No. 8, en su conformación de polvo debe ser remezclado antes de ser usado. Su peso debe ser aproximadamente 100 partes de polvo y 13 partes de agua. Coloque el polvo en un contenedor de mezclado.

Propiedades Físicas

Coefficiente de expansión térmica	2.6 x 10 ⁻⁵ /°F (4.68 x 10 ⁻⁶ /°C)
Color	Blanco
Fuerza de compresión	3,000 psi (210 kg/cm ²)
Densidad	160 pcf (2.56 gm/cm ³)
Constante dieléctrica	3.0 - 4.0
Fuerza dieléctrica	
@70°F (21°C)	76.0 to 101.5 Volts/mil (2,900 to 3,900 Volts/mm)
@750°F (398°C)	25.0 to 38.0 Volts/mil (980 to 1,490 Volts/mm)
@1,475°F (801°C)	12.5 to 25.0 Volts/mil (490 to 980 Volts/mm)
Máxima temperatura de servicio	2,800°F (1,426°C)
Radio de mezcla	100:13
Módulo de ruptura	900 psi (63 kg/cm ²)
Fuerza a extensión	400 psi (28 kg/cm ²)
Conductividad térmica	8 - 11 Btu.in/ft ² .hr.°F (2.7 - 3.8 x 10 ⁻³ Cal.cm/cm ² .sec.°C)
Resistencia por volumen	
@ 70°F (21°C)	10 ¹⁰ - 10 ¹¹ ohm-cm
@ 750°F (398°C)	10 ⁹ - 10 ¹⁰ ohm-cm
@ 1,475°F (801°C)	10 ⁸ - 10 ⁹ ohm-cm

Las propiedades físicas fueron determinadas en especímenes preparados bajo condiciones de laboratorio usando procesos de aplicación ASTM. Las condiciones de campo reales pueden variar y arrojar diferentes resultados; por lo tanto la información está sujeta a una desviación razonable.

La mínima cantidad de agua debe ser usada, dado que el exceso de agua reduce la resistencia mecánica, incrementa el encogimiento y retarda el tiempo de curado. La falla en la adherencia del cemento injera que el curado ha comenzado – descarte el cemento -. No intente amasar añadiendo más agua. Substratos porosos podrían requerir amortiguamiento con adelgazante líquido Sauereisen No. 14 previo a la aplicación del cemento.

Conformado/Curado

El cemento Sauereisen de electro temperatura No. 8 endurece con una acción de curado químico después de 18-24 horas a temperatura ambiente. El tiempo de trabajo del cemento No.8 cuando el polvo es mezclado con agua es aproximadamente 30 minutos a 70°F. Si es necesaria la aceleración del curado, un horno de secado de baja temperatura a 180°F puede ser usado.

Añada agua en una sola ocasión mientras mezcla, no añada agua gradualmente.

Continúe mezclando hasta que una consistencia suave y uniforme sea obtenida. El mezclado puede ser realizado con una mezcladora de baja velocidad o a mano con una espátula.

Evite la vaporización durante el secado. El curado apropiado del cemento No.8 es crítico para el desarrollo de las máximas resistencias. Si el cemento será expuesto a elevadas temperaturas, inmersión, consiste en agua o ambientes con saturación de vapor consulte a Savereisen para una programación de secado apropiada.

Para una mayor resistencia a la humedad donde el encendido del cemento sea impráctico, una laca resistente a la humedad o revestimiento de silicón debe ser aplicado a las superficies expuestas.

Embalaje

El embalaje estándar para el cemento Sauereisen de electro temperatura No. 8 son bolsas de 50 lb. El embalaje menor en cuartos y galones está disponible también. Consulte Sauereisen para la cotización especial de embalaje en cubos.

Vida útil en gabinete

El polvo Sauereisen No.8 tiene una vida en gabinete de un año cuando es almacenado en contenedores sellados herméticamente en una ubicación seca a 70°F. Si hay alguna duda con respecto a la calidad del material, consulte a Sauereisen.

Precaución.

Consulte los detalles de seguridad del material y las precauciones de seguridad de las etiquetas del contenedor para la excepción de los riesgos en el manejo de este material.

Limpieza del material

Todo equipo debe ser limpiado con agua y jabón antes que el cemento No. 8 sea curado, si la remoción es requerida después del curado, consulte Sauereisen para recomendaciones.