



**Benemérita Universidad Autónoma de Puebla**

**Facultad de Ciencias de la Computación**

---

---

***Sistema empotrado de visualización de imágenes basadas en contextos históricos del entorno con información adicional desplegable***

**TESIS**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN**

**Presenta:**

**Vicente Guevara Ayala**

**Asesor**

**Manuel Martín Ortiz**

**Puebla 2010**

---

# INDICE

<i>Lista de ilustraciones y tablas</i>	3
<i>Resumen</i>	5
<i>Introducción</i>	7
Objetivos y especificaciones	8
Objetivo particular	9
Cronograma	11
Justificación	12
Contribución a la ciencia	12
<i>Capítulo I. Planteamiento del problema</i>	15
1.1. Antecedentes	15
1.2. Panorama del campo del arte	15
1.3. Sistemas empotrados	16
1.4. Aplicaciones empotradas	18
1.5. Telescopios panorámicos	24
1.6. Máquinas tragamonedas	27
1.7. Aplicaciones de recorridos en 3D	30
<i>Capítulo II. Planteamiento y análisis</i>	33
2.1. Recopilación de datos	33
2.2. Hardware	33
2.3. Selección del sistema empotrado	34
2.4. Pantalla LCD	38
2.5. Sistema de detección de giros	43
2.6. Brújula digital	45
2.7. Botón rotatorio	57
2.8. Monedero electrónico	59
2.9. Software	61
2.10. Sistema operativo	62
2.11. Lenguajes de programación	63

<b>Capítulo III. Diseño e implementación</b>	<b>67</b>
<b>3.1. Diseño e implementación del hardware</b>	<b>67</b>
<b>3.2. Sistema de orientación</b>	<b>67</b>
<b>3.3. Sistema operativo</b>	<b>71</b>
<b>3.4. Sistema receptor de monedas</b>	<b>73</b>
<b>3.5. Interconexión de sistemas</b>	<b>79</b>
<b>3.6. Diseño e implementación del software</b>	<b>80</b>
<b>3.7. Uso del lenguaje Java</b>	<b>88</b>
<b>3.8. Comunicación entre dispositivos</b>	<b>93</b>
<b>3.9. Diseño de imágenes</b>	<b>94</b>
<b>3.10. Acoplamiento entre hardware y software</b>	<b>98</b>
<b>Conclusiones y Perspectivas</b>	<b>103</b>
<b>Conclusiones</b>	<b>103</b>
<b>Perspectivas</b>	<b>104</b>
<b>Limitaciones</b>	<b>104</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>105</b>
<b>Referencia escrita y documentación PDF</b>	<b>105</b>
<b>Sitios web consultados</b>	<b>106</b>
<b>Anexos fotográficos</b>	<b>i</b>

## Lista de ilustraciones y tablas

<i>Tabla 1. Calendario de tareas</i> .....	11
<i>Tabla 1.1. Clasificación de los sistemas empotrados [12]</i> .....	18
<i>Imagen 1.1. Portarretratos digital. [13][14]</i> .....	19
<i>Imagen 1.2. Diagrama esquemático interno de un portarretratos [15]</i> .....	22
<i>Imagen 1.3. Llavero digital que acopla una memoria interna de 8MB y permite almacenar hasta 150 fotos. [17]</i> ....	23
<i>Imagen 1.4. Nueva generación de los portarretratos digitales que imprime imágenes. [18]</i> .....	23
<i>Imagen 1.5. Kiosco de información comúnmente instalado en lugares concurridos [35]</i> .....	24
<i>Imagen 1.6. Telescopios panorámicos activados por monedas. [37], [24]</i> .....	26
<i>Imagen 1.7. Base de apoyo de un telescopio turístico [25]</i> .....	26
<i>Imagen 1.8. Primer tragamonedas [27]</i> .....	27
<i>Imagen 1.9. Kinetoscopio siendo utilizado por un usuario. [30]</i> .....	28
<i>Imagen 1.10. Algunas máquinas tragamonedas de arcadia del siglo XIX [32]</i> .....	29
<i>Imagen 1.11. Mecanismos de selección de monedas [38], [39]</i> .....	30
<i>Imagen 1.12. Sala de casino en la actualidad [34]</i> .....	30
<i>Imagen 1.13. Recorrido virtual de la zona arqueológica de Cholula propuesto por Figueroa y González de la Vega [36]</i> .....	31
<i>Imagen 1.14. Interfaz del proyecto mencionado</i> .....	31
<i>Imagen 1.15. Ejemplo de pantalla interactiva [36]</i> .....	32
<i>Tabla 2.1. Lista de naciones que reconocen a Taiwán como nación independiente de China continental [51]</i> .....	35
<i>Imagen 2.1. Sistema adquirido, vista superior y frontal con adaptador [52]</i> .....	36
<i>Imagen 2.2. Esquema de la parte posterior del sistema</i> .....	37
<i>Imagen 2.3. Diagrama de la parte frontal del sistema</i> .....	37
<i>Imagen 2.4. La segunda flecha indica la ranura para insertar memorias MicroSD</i> .....	37
<i>Imagen 2.5. Ubicación del switch Master/Slave</i> .....	38
<i>Imagen 2.6. Pantallas LCD posibles de obtener en la localidad. [55]</i> .....	39
<i>Imagen 2.7. Propuesta de uso de tecnología OLED</i> .....	40
<i>Imagen 2.8. Parte posterior de la pantalla OLED [74]</i> .....	41
<i>Imagen 2.9. Conector de señal de entrada de 20 pines tipo DF-19L-20P-1H del panel LCD OLED</i> .....	41
<i>Imagen 2.10. Monitor LCD TFT con conexión VGA [76]</i> .....	41
<i>Imagen 2.11. Monitor seleccionado [72]</i> .....	42
<i>Tabla 2.2. Especificaciones del monitor</i> .....	43
<i>Imagen 2.12. Diagrama de aspectos técnicos del monitor basado en el estándar VESA [72]</i> .....	43
<i>Imagen 2.13. Potenciómetro multivuelta y su respectivo diagrama [60]</i> .....	44
<i>Imagen 2.14. Potenciómetro motorizado</i> .....	44
<i>Imagen 2.15. Brújula convencional moderna [64]</i> .....	46
<i>Imagen 2.16. Campo magnético terrestre [67]</i> .....	46
<i>Imagen 2.17. Mapa de las zonas terrestres</i> .....	47
<i>Imagen 2.18. Ubicación del Norte geográfico</i> .....	48
<i>Imagen 2.19. Diagrama de bloques de la brújula electrónica [43]</i> .....	48
<i>Imagen 2.20. Ubicación perpendicular de ambos sensores KMZ51 [44]</i> .....	49
<i>Imagen 2.21. Diagrama del vector del campo de la tierra [46]</i> .....	51
<i>Imagen 2.22. Efecto magneto-resistivo en el Permalloy</i> .....	53
<i>Imagen 2.23. (a) Línea punteada: Características de sensor estándar R-H</i> .....	54
<i>(b) Línea continua: Características de sensores “Barber Pole”</i> .....	54

<i>Imagen 2.24. Diagrama de sensor barber pole .....</i>	<i>55</i>
<i>Imagen 2.25. Señal acondicionada a un microcontrolador.....</i>	<i>56</i>
<i>Imagen 2.26. Un encoder dentro del mouse. ....</i>	<i>58</i>
<i>Imagen 2.27. Alcancía electrónica [77].....</i>	<i>59</i>
<i>Imagen 2.28. A) CPU integrado con ventilador acondicionado para un funcionamiento continuo, B) Juegos de arcadia [78] .....</i>	<i>60</i>
<i>Imagen 2.29. Monedero electrónico [79].....</i>	<i>60</i>
<i>Imagen 2.30. Diagrama e imagen del monedero receptor de billetes [80].....</i>	<i>61</i>
<i>Imagen 3.1. Brújula, vista desde arriba.....</i>	<i>68</i>
<i>Imagen 3.2. Interfaz USB-I2C.....</i>	<i>70</i>
<i>Imagen 3.3. Diagrama de conexión del USB-I2C.....</i>	<i>71</i>
<i>Imagen 3.4. Toma de pantalla de la instalación.....</i>	<i>73</i>
<i>Imagen 3.5. Toma de pantalla del inicio del sistema.....</i>	<i>73</i>
<i>Imagen 3.6. Se muestra la estructura de un caracter que se transmite en forma serial asíncrono.....</i>	<i>75</i>
<i>Imagen 3.7. Diagrama propuesto para reemplazar al circuito MAX232. [97] .....</i>	<i>77</i>
<i>Imagen 3.8. Cristal externo del PIC .....</i>	<i>78</i>
<i>Imagen 3.9. Cristal de cuarzo .....</i>	<i>78</i>
<i>Imagen 3.10. Sistema de tragamonedas.....</i>	<i>79</i>
<i>Imagen 3.11. Diagrama de bits de registro.....</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 3.1. Registros del CMPS03.....</i>	<i>81</i>
<i>Imagen 3.12. Toma de pantalla donde se observa cómo la PC reconoció el dispositivo .....</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 3.2. Tabla de comandos para comunicarse con el USB-I2C .....</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 3.3. Tabla de códigos de bytes de escritura de datos .....</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 3.4. Comandos para escritura de datos.....</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 3.5. Dirección de datos .....</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 3.6. Comandos de lectura de datos .....</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 3.7. Ejemplo de ingreso de comandos para comunicar al I2C-USB.....</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 3.8. Comandos para comunicar al I2C-USB.....</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 3.9. Ejemplo de ingreso de comandos para comunicar al I2C-USB.....</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 3.10. Comando para convertir desde I/O a nivel lógico alto para que puedan ser usados como entradas.....</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 3.11. Asignación de tareas de Java [100] .....</i>	<i>89</i>
<i>Imagen 3.13. Toma de pantalla del código principal.....</i>	<i>92</i>
<i>Imagen 3.14. Parte del código principal.....</i>	<i>93</i>
<i>Imagen 3.15. Fachada creada y diseñada en GIMP.....</i>	<i>96</i>
<i>Imagen 3.16. Monitor mostrando reconstrucción digital.....</i>	<i>98</i>
<i>Imagen 3.17. Diagrama de bloques del sistema .....</i>	<i>99</i>
<i>Imagen 3.18. Ángulos de visión del usuario [81]. .....</i>	<i>100</i>
<i>Imagen 3.19. Planos del prototipo.....</i>	<i>102</i>

## Resumen

El proyecto se orienta a la elaboración de un dispositivo integrado que servirá de forma similar a la de un visor panorámico turístico instalado comúnmente en las partes más altas de rascacielos o en lugares turísticos de recreación donde el usuario puede observar a través de un par de mirillas el entorno que le rodea de forma telescópica, insertando una moneda se activa el mecanismo del artefacto obteniendo la vista ampliada de un paisaje o panorama, dependiendo del giro que haga el usuario del mismo. El presente proyecto propuesto tendrá algunos puntos semejantes, pero con notables diferencias, en este caso el usuario al acercarse a las mirillas podrá observar el entorno pero no de forma telescópica como se haría en un visor panorámico giratorio común sino que podrá observar ese mismo entorno a través de una pantalla LCD instalada propiamente observando el mismo sitio pero varios años o siglos atrás, es decir, el usuario tendrá la opción de elegir la época o años de visión usando un botón rotatorio colocado en el dispositivo seleccionando la opción que desee mirar de ese mismo entorno.

Para aclarar más este punto, se propondrá el siguiente ejemplo, suponiendo que este dispositivo panorámico se coloque en la Plaza de Armas del Centro Histórico de la Ciudad de Puebla, se da por hecho que solamente aquello alrededor del dispositivo puede ser visualizado; siempre y cuando el usuario se acerque a las mirillas que en nuestro caso será una pantalla LCD de 8 pulgadas aislada de los rayos del sol, polvo, y que a través de ésta el usuario podrá observar el sitio seleccionando la época con un botón giratorio, si el usuario decide girar este dispositivo apuntado hacia la Catedral y gira el botón seleccionando una fecha del pasado histórico, entonces podrá visualizar el mismo edificio siglos atrás con la fecha elegida. Pudiendo girar cuantas veces pueda el artefacto y seleccionando las fechas que él desee observando las distintas facetas por las que ha pasado la Plaza de Armas mirando detenidamente el estilo de vida de la ciudad cuando tenía por citar un ejemplo 100,000 habitantes en los albores del siglo XVIII [1].

Hablando de forma más estricta, se puede mencionar que el dispositivo constará de varios elementos electrónicos como son: una brújula electrónica y su correspondiente interfaz para conectarse a un microprocesador central acoplado con un monitor LCD, un monedero electrónico y su respectivo pulsador con la función de trasladar datos al procesador en caso de que el usuario deposite una moneda para activar el servicio, así como un botón giratorio y disco duro externo que en conjunto trabajan de forma paralela con el procesador para cumplir tal función. Por otro lado

se ofrece la posibilidad de incluir una segunda pantalla táctil ubicada en la parte inferior al visor LCD que muestre recorridos virtuales de interés turístico dependiendo del sitio donde se encuentre el dispositivo panorámico utilizando software de licencia libre que pueda ser adaptado a los sistemas empotrados [2].

## Introducción

El desarrollo tecnológico ha avanzado de forma impresionante en las últimas décadas en diversos campos sobre todo en países con alta renta per cápita mientras que en las naciones de desarrollo bajo y medio la tecnología es un elemento casi o poco accesible, en nuestro caso existen algunos datos e indicios que reportan un notable crecimiento sobre el uso y desarrollos de tecnologías en la nación llegando a crecimientos superiores anuales de casi 12% tanto en sectores tecnológicos como las telecomunicaciones [3].

El área de las tecnologías de la Información o TICs es una de las más amplias y prioritarias del Plan Nacional de Ciencia y Tecnología del país, la investigación se realiza a nivel nacional en universidades públicas y privadas y en centros de investigación públicos e industrias generando un número total de patentes de 14,436 de las cuales, el 10% son del ramo de las TICs sin embargo existen algunos estudios que demuestran que tales avances no son suficientes para alcanzar a otros países que tienen las mismas condiciones de desarrollo que el nuestro para ello ha sido necesario crear instituciones de carácter gubernamental apoyado por empresas privadas para aglutinar los aspectos relacionados al campo tecnológico [4].

Por lo anterior existe en México desde 1970 el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) declarado oficialmente como un organismo público descentralizado de la Administración Pública Federal, integrante del Sector Educativo, con personalidad jurídica y patrimonio propio. También es responsable de elaborar las políticas de Ciencia y Tecnología en México. Desde su creación hasta 1999 se presentaron dos reformas y una ley para coordinar y promover el desarrollo científico y tecnológico y el 5 de junio del 2002 se promulgó una nueva Ley de Ciencia y Tecnología. La meta de este ente es consolidar un Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología que responda a las demandas prioritarias del país, que dé solución a problemas y necesidades específicos, y que contribuya a elevar el nivel de vida y el bienestar de la población enfocándose principalmente al fomento de desarrollo científico y tecnológico ya sea vinculando instituciones académicas con empresas, promoviendo la innovación tecnológica en empresas e impulsando la formación de recursos humanos de alto nivel. [5]

En 2002, el CONACYT realizó una encuesta sobre la percepción pública de la ciencia y la tecnología. Esta encuesta reveló que la gente considera que el tema "ciencia-tecnología" es de mucha importancia. Lo malo es que no comprende qué relevancia tiene en su vida diaria. También que el valor que se le asigna a la ciencia y tecnología varía conforme el grado de educación de la perso-

na entrevistada: a mayor educación, mayor conocimiento; a menor edad mayor conocimiento de ciencia y tecnología; No hay aparente distinción por sexo en las percepciones; la ocupación influye claramente sobre la percepción; las noticias sobre ciencia y tecnología son interesantes para las personas y buscan esta información vía medios masivos; "Ciencia y Tecnología" es uno de esos temas generales a los que efímeramente se le adscribe importancia aún cuando no se tenga mayor conocimiento de qué significa o cómo se relaciona con la vida de cada quien.

Por lo tanto se han hecho mayores esfuerzos para que la difusión y divulgación de los conocimientos científicos y tecnológicos lleguen de mejor forma y a un mayor número de personas, siendo lo deseable que todas estén bien informadas. [6]

Otro punto a considerar es el exceso de burocracia para registrar patentes, aunado a la falta de inversión en educación y en el impulso al software libre, dificultando el desarrollo tecnológico en el país por lo cual países como China nos aventaja aún con todos sus problemas de censura sobre las tecnologías de la información. [7]

### ***Objetivos y especificaciones***

El objetivo principal es la proyección y construcción del sistema en conjunto capaz de mostrar al usuario imágenes relacionadas a la reconstrucción digital del centro histórico con la opción de girar algún tipo de rotor para cambiar de imagen a su vez el sistema solicitará el ingreso de cierto tipo de monedas para acceder a desplegar las imágenes.

A largo plazo se tiene la idea de explotar el proyecto y montarlo en algún sitio de valor histórico para que la población en general tenga acceso a las imágenes y pueda observar una reconstrucción digital de épocas pasadas, por todo lo anterior dentro del presente proyecto se presentan las bases para cumplir tal objetivo debido a lo costoso que resultaría construir un esquema sistemático de función continua operado las 24 horas por el usuario común, soportando inclemencias del tiempo y tomando en cuenta la cubierta necesaria para soportar estas últimas así como actos vandálicos o situaciones de rapiña que se pudieran presentar. En el fondo de todo el trabajo de investigación está el hecho de romper las barreras que aún persiste entre el hardware y el software, comúnmente se encuentra la implicación subsecuente de que está bien ser un experto en una de ellas (hardware o software) sin tener idea de la otra. En la actualidad tanto en instituciones privadas como gubernamentales se tiene la noción de que existe una barrera grande entre ambas y que los investigadores deben optar con permanecer de un lado o del otro de la pared. A medida que se profundice dentro del proyecto, se exhortará a considerar un enfoque contrario; el hardwa-

re y el software están predeterminados a coexistir como partes integrales de un sistema de cómputo que funciona mejor cuando están diseñados tomando en cuenta las capacidades y limitaciones de ambos.

En el presente, dentro de las grandes industrias tecnológicas, los diseñadores de microprocesadores que comprenden las necesidades de los programas que serán ejecutados en el microprocesador que están diseñando serán mucho más efectivos que aquellos que no las comprenden. Un ejemplo de esto son Intel, AMD y Motorola entre algunos otros fabricantes importantes de microprocesadores reconocieron hace algunos años que un gran porcentaje de programas futuros contendrían archivos de video, voz y datos, siendo necesario un microprocesador eficiente. El resultado ha sido que la mayoría de los microprocesadores actuales contienen capacidades de hardware adicionales, llamadas en colectivo: conjunto de instrucciones MMX desarrollándose hardware especial para éste. Lo mismo sucede para los diseñadores de software, aquel programador creador de una aplicación grande que comprenda las capacidades y limitaciones del hardware que llevará a cabo las tareas de ese programa puede diseñar el programa de una manera más eficiente que el diseñador que no comprende la naturaleza del hardware.[104] En resumen se quiere dar a entender que es importante hacer conciencia en ser capaz de dominar tanto el hardware como software sin inclinarse totalmente por alguno de ellos, vale la pena el tiempo invertido para cada uno de los dos ya que de esta forma se notan posibles repercusiones en base de las implementaciones creadas.

### ***Objetivo particular***

Debido a la magnitud del proyecto se optó por dividirlo para su desarrollo en dos partes: hardware y software, dentro de la primera se abarca una completa y minuciosa investigación y selección de ofertas de componentes de hardware que dado su costo y rendimiento sean posibles elegir, mientras que por el lado del software se desarrollará una aplicación que busque adecuarse a las características del sistema en base a la memoria RAM, velocidad del procesador, etc.

Desde el punto de vista del hardware el objetivo es crear un sistema fiable y capaz de ejecutar algún tipo de aplicación que despliegue las imágenes y éstas a su vez puedan ser manipuladas por el usuario a través de un rotor o algún otro tipo de botón rotatorio. También se incluirá un aparato receptor de monedas como aquellos que comúnmente se encuentran en los juegos de arcadia; para desplegar las imágenes de zonas históricas se deberá buscar algún monitor de tamaño adecuado sin castigar la visibilidad y que sea capaz de interconectarse al sistema que irá de la mano

junto con algún tipo de mecanismo de giro que le indique al sistema la dirección horizontal a la que el usuario esté girando el visor. Recapitulando, los elementos que se deben considerar para armar correctamente el sistema son:

1. Un sistema empotrado capaz de procesar imágenes y recibir datos de los dispositivos periféricos que serán accionados por el usuario dando instrucciones al sistema.

El sistema empotrado deberá tener una pantalla LCD mínimo de 8 pulgadas para desplegar imágenes. Este es el punto más importante que define el rumbo de todo el proyecto, la selección de un sistema empotrado adecuado requiere de una minuciosa investigación.

2. Un rotor o botón giratorio para que el usuario seleccione las imágenes.
3. Una máquina receptora de monedas o tragamonedas la cual recibirá un tipo de moneda predeterminada en la cual al introducirla el sistema comenzará a desplegar imágenes a través de una pantalla LCD y que sea del agrado del usuario.
4. Una brújula o elemento indicador de giro.

En el caso que no sea posible ubicar algún sistema con pantalla LCD deberá adaptarse o adquirir alguno que sea compatible.

Desde el punto de vista del software el objetivo consistirá en el desarrollo de la aplicación en lenguaje Java considerando algún otro lenguaje de programación que sea adecuado a la arquitectura del sistema. Es importante recabar diversos tipos de información, incluyendo los potenciales lenguajes de programación que sean aptos para los desarrollos embebidos, agrupando conceptos como la comunicación de interfaces entre dispositivos conectados al sistema para evitar problemas de envío y recepción de datos entre estos y el sistema.

## Cronograma

En la siguiente tabla se muestran las etapas que fueron ejecutadas según las tareas asignadas:

	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
Recopilación de información	■							
Adquisición de brújula digital	■							
Configuración y estudio a fondo de la brújula	■							
Programación del módulo de la brújula	■	■				■		
Adquisición del monedero electrónico y botón rotatorio	■							
Estudio y configuración de monedero y botón		■	■	■				
Programación del módulo de monedero y botón			■			■	■	
Análisis de sistemas empotrados			■	■				
Obtención del sistema adecuado				■				
Configuración y programación del sistema					■	■		
Unificación de módulos e implementación en sistema						■	■	
Reconstrucción digital del centro histórico							■	
Pruebas del sistema desplegando imágenes							■	■
Armado del chasis y pruebas								■

Tabla 1. Calendario de tareas

En el caso de la primera asignación se abarcó el estudio a fondo de proyectos similares o aquellos que tuvieran alguna relación al propuesto, mientras que la programación de los módulos consta de la elaboración de las aplicaciones de algunos de los dispositivos mencionados con la finalidad de despejar posibles errores a la hora de implementarlos en el sistema. Al hablar de la unificación de módulos se establece que todos los módulos anteriores fueron programados con éxito iniciando la etapa de incrustación a la aplicación principal, ésta tarea fue no solo en los primeros meses sino que también en la parte final debido a que los módulos de programación serán programados bajo el sistema operativo Windows ahora agrupados bajo la plataforma Linux, por ello es que será necesario por ejemplo cambiar bibliotecas y ciertas rutinas que sean diferentes en ambas plataformas.

La última etapa como se especifica en el cuadro, considerando la viabilidad del proyecto, es la de crear una especie de carcasa que cubra a todo el aparato conectando todos sus periféricos adecuadamente incluyendo si es posible la instalación de alguna batería inhibiendo totalmente el uso de

voltaje ajena al sistema cumpliendo con uno de los puntos que lo definen como sistema empotrado de fácil traslado y/o portable, todo ello con la finalidad de poder ser probado a futuro en público.

### ***Justificación***

Es importante el desarrollo de aplicaciones embebidas como se muestra en el presente proyecto debido a que este tipo de tecnologías no han tenido el realce necesario por parte de las instituciones académicas y de investigación nacionales aún y cuando su consumo alrededor del mundo es creciente e impresionante, de tal modo se espera que al desarrollar y concluir este proyecto se esté explotando este campo y quede de manifiesto como base para futuras investigaciones relacionadas a las aplicaciones y hardware embebido. Desde una perspectiva particular se intenta resolver la problemática relacionada a la pérdida de interés por parte del ciudadano común a la historia y a sus raíces empleando a través de técnicas modernas y dinámicas la presentación de la historia prehispánica o colonial de nuestro pasado como nación esperando cautivar al usuario con modelos 3D y reconstrucciones digitales de lugares pasados, ya que al igual que muchas personas, todos hemos conocido alguna zona arqueológica o monumento histórico y en algunas ocasiones existirán personas que se pregunten cómo fueron y sucedieron las cosas en ese mismo sitio hace miles o cientos de años. Al terminar el proyecto se espera también beneficiar a la Universidad incentivando a demás jóvenes a emprender el camino en la computación aplicada logrando algún tipo de interés sobre el uso de la tecnología en nuestra comunidad haciendo de la computación e informática una realidad concreta en la sociedad.

### ***Contribución a la ciencia***

Como otro punto de aportación está el hecho de generar nuevos campos de estudio e investigación en el área de sistemas empotrados, esto tal vez parecerá algo no muy importante sin embargo en México es un campo no muy explotado, considerando que el mundo se está moviendo en dirección de este tipo de sistemas cada vez más pequeños y fabricados a la medida del software y como una pequeña muestra de ello es la casi ausencia de desarrollo e implementación de éste tipo de tecnologías en el país. Considerando que recientemente se han visto notables avances por parte de algunas universidades para fomentar esta tecnología como lo hace el CINVESTAV que ha establecido como línea de investigación a la Ingeniería Computacional enfocada a los sistemas embebidos y cómputo reconfigurable; y así como otras instituciones que adoptan tal objetivo

comprenden la integración de herramientas computacionales diversas para resolver problemas de automatización y robótica enfocándose al área de empotrados basada en el conocimiento y desarrollo de dispositivos que tienen componentes de software empotrados en hardware, por ejemplo dispositivos tales como teléfonos celulares, agendas personales, digitales, reproductoras de audio digital, grabadoras de video digital, sistemas de alarma, máquinas de rayos X, herramientas médicas láser entre otras. Todas ellas requieren como se mencionó anteriormente de hardware y software empotrado, algunas otras instituciones consideran también el estudio, análisis y diseño de prototipos de hardware reconfigurable de algoritmos criptográficos, algoritmos para compresión/descompresión de información y algoritmos aplicados a la visión por computadora. Como parte de esta línea de investigación se encuentra el cómputo reconfigurable, el cual se refiere al uso de dispositivos de hardware flexible que permiten construir soluciones hardware/software a problemas computacionales altamente demandantes. [8]

En relación al aspecto comercial y manufacturero dentro de nuestro país existe una creciente demanda lo cual ha hecho que muchas empresas comiencen a capacitar ingenieros mexicanos en el uso y desarrollo de estos dispositivos.



# Capítulo I. Planteamiento del problema

## **1.1. Antecedentes**

Antes de comenzar a desarrollar el proyecto será necesario examinar un poco la actualidad de la tecnología aplicada deseada para comprender la profundidad y relevancia del mismo, incluso para también delimitar los alcances planeados por ello en breve se comentarán datos destacados sobre los sistemas embotellados, usos y aplicaciones, citando algunos de los proyectos con los que el trabajo actual pueda estar emparentado y relacionando casos de ejemplo; así como su posible utilización dentro del presente trabajo aunado al hecho de considerar limitadamente algunos aspectos históricos abordando sólo aquellos conceptos de relevancia con el simple objeto de entender mecanismos y funciones primordiales que nos sean útiles.

## **1.2. Panorama del campo del arte**

El desarrollo de los sistemas embebidos alcanza ya los 200 millones de dólares en México, mientras que en Canadá y Estados Unidos es de casi 10,000 millones de dólares, algunos analistas consideran que el valor de mercado en nuestro país llegue a los 3,000 millones de dólares. En Australia incluso se han invertido por lo menos 11,000 millones de dólares para desarrollar infraestructura adecuada para estos sistemas, los cuales crecen continuamente en Europa y Asia. De ahí la necesidad de crear el Consorcio Mexicano de Microsistemas (CMM) que tiene entre sus objetivos más importantes impulsar la producción y desarrollo de sistemas embebidos y software que se ubica dentro de los aparatos para que éstos operen de forma continua trabajando en diversas áreas de la industria.

Los reportes del CMM establecen que en nuestra nación hace falta personal capacitado para crear este tipo de herramientas tecnológicas debido a que sólo existen alrededor de 200 ingenieros aptos para operar en éste rubro, por ello se han acercado a las universidades para fomentar programas que desarrollen esta capacidad para que más empresas mexicanas se enfoquen en esto y para que crezcan los grupos de empresas extranjeras que trabajan en la aplicación de software de sistemas embebidos, un ejemplo de esto; la Fundación México-Estados Unidos para la ciencia (Fumec), la cual ha trabajado en el desarrollo de microsistemas como son los sistemas electro-mecánicos, uso de FPGA's y sistemas embebidos los cuales tienen importantes aplicaciones en

los sectores de tecnologías de la información y comunicación, salud, energía, alimentos y automotriz. [9]. El panorama actual es todavía muy amplio y sin explotar quedando enormes posibilidades de desarrollo de aplicaciones que pueden generar ingresos y un crecimiento de capacidades y habilidades mejorando aún los estándares de vida del entorno y propiciando un ambiente favorable para un desarrollo óptimo de tecnologías motivando a futuros investigadores a continuar con el perfeccionamiento de los adelantos tecnológicos.

### **1.3. Sistemas empotrados**

Existen numerosas definiciones del sistema empotrado o también llamado embebido que en conjunto dan una idea general, esto debido a que el campo de estudio de estos sistemas es diverso y en la práctica es común ver innumerables ejemplos de sistemas empotrados en la electrónica de consumo (lectores de DVD, televisores, lavadoras, lavaplatos,...), automóviles (control de velocidad, climatización, sistema de inyección,...), aeronáutica y espacial (computadoras de vuelo, de misión, Path-finder,...), defensa (bombas y misiles inteligentes, sistemas de dirección de tiro,...), también en el ramo de las telecomunicaciones (radios, teléfonos celulares, GPS,...). Por ello no basta una sola definición aunque es posible listar algunas para dar una idea de su significado:

- *Un sistema empotrado es un sistema operativo ejecutándose con sus elementos externos y que desarrolla una función específica de forma autónoma.*
- *Es un sistema operativo ejecutándose en un microcontrolador de pocos recursos.*
- *Es un artefacto (hardware+ software) no susceptible de modificación del algoritmo que define su comportamiento.*
- *Es un sistema computador de propósito especial construido en un dispositivo mayor.*
- *Es una mezcla de hardware y software que constituye un componente dentro de un sistema más complejo y se espera que funcione sin intervención humana.*

La característica básica es que estos sistemas tienen una función única o un conjunto limitado de funciones y no suelen ser de propósito general, por otra parte, si el sistema empotrado está bien diseñado, la presencia del procesador y software pasan completamente inadvertidos por el usuario del dispositivo. [10]

Dentro de los sistemas empotrados tienen cabida los sistemas de tiempo real los cuales son sistemas informáticos donde el tiempo es significativo en el que se producen sus acciones.

No basta que las acciones de un sistema sean correctas sino que además deben ocurrir dentro de un intervalo de tiempo determinado. Los sistemas de tiempo real suelen estar integrados en un

sistema de ingeniería más general, en el que realizan funciones de control, procesamiento y/o monitorización.

Los componentes del sistema funcionan simultáneamente, el sistema de control debe atenderlo generando acciones de control o visualización de forma simultánea, también la computadora ejecuta acciones de forma secuencial cumpliendo con la propiedad de concurrencia, otra característica de un sistema empotrado es la fiabilidad y seguridad; un fallo en el sistema de control puede hacer que el sistema se comporte de forma inesperada, y por ello es importante asegurar que si el sistema de control falla lo haga de forma que el sistema controlado quede en un estado seguro, por tanto se deben tener en cuenta los posibles fallos o excepciones en el diseño, de esto se afirma que parte de los sistemas deben responder con gran rapidez.

Los sistemas empotrados interactúan con su entorno mediante diversos tipos de dispositivos que normalmente no son convencionales (teclados, impresoras): convertidores A/D y D/A, pwm, entradas y salidas digitales de tipo paralelo o serie, interfaces con sensores, actuadores, periféricos especiales, etc.

Los componentes del software que controlan el funcionamiento de estos dispositivos también llamados manejadores o drivers son en general dependientes del sistema en concreto. Otra característica de los sistemas empotrados es la robustez, mencionando sistemas con movimiento usados en tareas que requieran de ser transportados, sujetos a vibraciones e incluso impactos ya sea en autos, robots o instrumentación portátil, aparte de que no siempre trabajan en condiciones óptimas de temperatura, humedad y limpieza.

Los sistemas deben tener un factor de protección IP: IP65; donde el primer dígito corresponde al nivel de protección de entrada de sólidos como el polvo y el segundo dígito menciona la protección ante la entrada de líquidos.

El bajo consumo es otra característica básica ya que muchos de estos sistemas están alimentados con baterías o pilas y en muchos casos con necesidades de bajo voltaje (3V). Esto viene a confirmar el siguiente principio:

Menor consumo => mayor autonomía

Un bajo peso es un punto importante en los sistemas portátiles que no depende únicamente de la computadora y su periferia sino también de la alimentación o de los sensores y actuadores; aunado a esto los sistemas de este tipo deben ser de bajo precio muy aplicable a la electrónica de consumo y otros dispositivos con mercados muy competitivos como la telefonía celular. Estos a su

vez son computadoras de pequeñas dimensiones, las dimensiones de un sistema empotrado no dependen sólo de sí mismo sino también del espacio disponible en el sistema que controla o monitoriza. Resumiendo lo anterior se muestra en la siguiente tabla la clasificación de computadoras en relación al tipo de sistema: [11]

	PROPÓSITO GENERAL	TIEMPO REAL
NO EMPOTRADOS	Supercomputadores Servidores Estaciones de trabajo PC's Calculadoras  <i>Cálculo científico</i> <i>Gestión (bancos, empresas)</i> <i>Bases de datos</i>	Tarjetas microprocesadores + tarjetas E/S + bus Automatas Programables Reguladores digitales  <i>Control industrial</i> <i>Simuladores de vuelo</i> <i>Robótica</i>
EMPOTRADOS		Tarjetas microprocesadores + tarjetas E/S + bus Microcontroladores, DSPs  <i>Electrodomésticos</i> <i>Aeronáutica</i> <i>Teléfonos móviles</i>

Tabla 1.1. Clasificación de los sistemas empotrados [12]

Los sistemas empotrados también pueden ser clasificados de la siguiente manera:

- **Sistemas reactivos.** *Son aquellos que dan respuesta a eventos del exterior, de tal forma que su operación está en función de su entorno.*
- **Sistemas interactivos.** *Son aquellos que siempre interactúan con el exterior, de tal forma que la velocidad de operación del sistema la establece el propio sistema empotrado.*
- **Sistemas transformacionales.** *Son aquellos que no interactúan con el exterior, únicamente toman un bloque de datos de entrada y lo transforma en un bloque de datos de salida, no es necesario el retorno.*

#### 1.4. Aplicaciones empotradas

Existe una gama de aplicaciones basadas en sistemas embebidos como anteriormente se mencionó, sin embargo, el presente trabajo se enfocará principalmente a aquellas aplicaciones empotradas que puedan ser de utilidad para el proyecto a desarrollar. Dentro del grupo de electrónica de consumo clasificada como sistemas embebidos están los llamados marcos digitales que no son más que unos dispositivos pequeños capaces de desplegar imágenes cada cierto periodo de tiempo.



Imagen 1.1. Portarretratos digital. [13][14]

Con independencia de dónde estén almacenadas las imágenes digitales o videos, los marcos digitales proporcionan un continuo despliegue de imágenes inclusive con calidad de impresión en una pantalla de alta resolución, el marco digital funciona de la siguiente manera; con sólo extraer cualquier dispositivo de memoria digital, se pueden observar imágenes y videos en pantalla, algunos fabricantes colocan la opción de situarlos como iconos seleccionables o como una sucesión de diapositivas con opciones de reproducción, efectos de transición e intervalos entre imágenes. Los marcos digitales fotográficos incorporan una amplia variedad de características, prestaciones y presentaciones exteriores dependiendo de la complejidad técnica de cada modelo. La calidad de la imagen es un aspecto central a considerar antes de optar por un marco digital para su estudio, dependiendo directamente de los siguientes factores:

- I. **Tecnología de visualización:** Los dos sistemas iniciales de pantalla plana: LCD (Liquid Crystal Display) y TFT (Thin-Film Transistor) han evolucionado hacia nuevos estándares de calidad con el sistema AMLCD (Active Matrix Liquid Crystal Display) y el sistema AMTFT (Active Matrix Thin-Film Transistor), actualmente la opción mayoritaria por parte de los fabricantes de pantallas, debido a su ligereza, buena calidad de imagen, amplitud de gama de colores y tiempo de respuesta.
- II. **Tamaño:** Clave determinante en la visualización de imágenes y para el resultado final del producto, la mayoría de los marcos digitales se presentan en formato 5x7 pulgadas, desplegando imágenes de 640x480, 800x600, 1024x768 y 1280x1024, aunque hay tamaños mayores y menores.

- III. **Resolución y píxeles:** Describe cuantos píxeles pueden ser manejados vertical y horizontalmente en la pantalla. Respecto a la densidad de píxeles es la determinación de cuantos píxeles son desplegados en un cierto espacio de pantalla. Obviamente, cuanto mayor sea el número por pulgada cuadrada, mejores resultados en la calidad de imagen. El tamaño del pixel está relacionado con el concepto anterior, determina la distancia entre píxeles en una pantalla. Cuanto más pequeño sea el valor, mayor resolución de imagen.
- IV. **Profundidad del color:** Se refiere al número de colores que puede ofrecer una pantalla, lo cual tiene una importancia enorme en el resultado final de la imagen. Así, los sistemas de baja calidad tienen generalmente 250,000 colores, mientras que otros soportan millones.
- V. **Brillo, contraste y ángulo de visión:** El brillo y contraste ajustables suponen una dramática mejora de la calidad de los elementos audiovisuales en específicas condiciones de luminosidad. La proporción de contraste define la relación entre el brillo de una imagen en blanco y el brillo de una imagen en negro. El ángulo de visión está relacionado directamente con la proporción de contraste e indica el ángulo en el que las imágenes pueden ser vistas horizontal y verticalmente, siendo el máximo ángulo que permite apreciar una imagen libre de efecto de oscurecimiento.
- VI. **Proporción de aspecto:** Que puede ser definida como la proporción entre la anchura y altura de una pantalla. La mayoría de las cámaras digitales y aparatos de televisión ofrecen una proporción 4:3 o 16:9. Así, en algunos casos, los marcos digitales con diferentes proporciones recortan las imágenes automáticamente para que la imagen llene el espacio central de la pantalla. La única forma de evitar este indeseable efecto es preparar las imágenes con un programa de edición.
- VII. **Conexión y almacenamiento:** Hay diversas formas de introducir imágenes y videos en los marcos digitales. Algunos sistemas están diseñados para un funcionamiento autónomo, con imágenes expuestas en pantalla desde una memoria interna o dispositivo de memoria, siendo la opción más simple; o mediante conexión USB, cuando el usuario quiere editar las imágenes antes de introducirlas en el marco.

Respecto a las tarjetas de memoria, ésta es la opción más sencilla de suministrar imágenes a los marcos digitales, que usualmente soportan la mayoría de las tarjetas. En otros casos,

un adaptador de tarjetas permite la operación de distintos formatos de tarjeta. La memoria interna permite un almacenamiento permanente de imágenes y videos dentro del marco digital, incluyendo aplicaciones de software que las adaptan al tamaño del marco, y diversas capacidades de almacenamiento dependiendo de cada modelo.

El USB (Universal Serial Bus) es un sistema estándar de puerto para sistemas de interfaz, originalmente diseñado para computadoras, pero también común en dispositivos portátiles de memoria, consolas de videojuegos, sistemas PDA, DVD, portátiles y reproductores multimedia, teléfonos móviles, televisores y, ahora, marcos digitales, su uso está muy extendido en estos últimos. Algunos portarretratos o marcos digitales poseen conexión telefónica que utiliza el tradicional modem para conectarse a internet para descargar imágenes y videos. Por otra parte también existen otros marcos con capacidad inalámbrica haciendo posible la transferencia de fotos directamente desde alguna cámara digital/web al marco digital.

Ya en últimos casos se han lanzado recientemente portarretratos digitales con bluetooth que igualmente permite la transferencia de imágenes y videos desde otro dispositivo bluetooth como una cámara o teléfono móvil.

**VIII. Visualización de imágenes y archivos:** Los marcos digitales soportan una variedad de formatos de imagen, video y audio:

- a. Imagen: JPEG, PNG, BMP, TIFF, etc.
- b. Audio: MP3 y WMA.
- c. Video: MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4 y 3GP.

No obstante, la reproducción de elementos de video requiere tarjetas de alta velocidad. Los marcos digitales incorporan también una serie de características que hacen posible recortar y rotar imágenes para su visualización en modo de retrato o paisaje, copiar y borrar imágenes, aplicar efectos especiales, añadir máscaras y bordes, cambiar colores, aplicar transiciones de imágenes, y organizar las imágenes en carpetas y álbumes. Físicamente incorporan una pantalla y altavoces adjuntos. No obstante, es posible la visualización de imágenes y videos en otros sistemas exter-

nos, como aparatos de televisión y pantallas, mediante la utilización de cables y conexiones diversas.

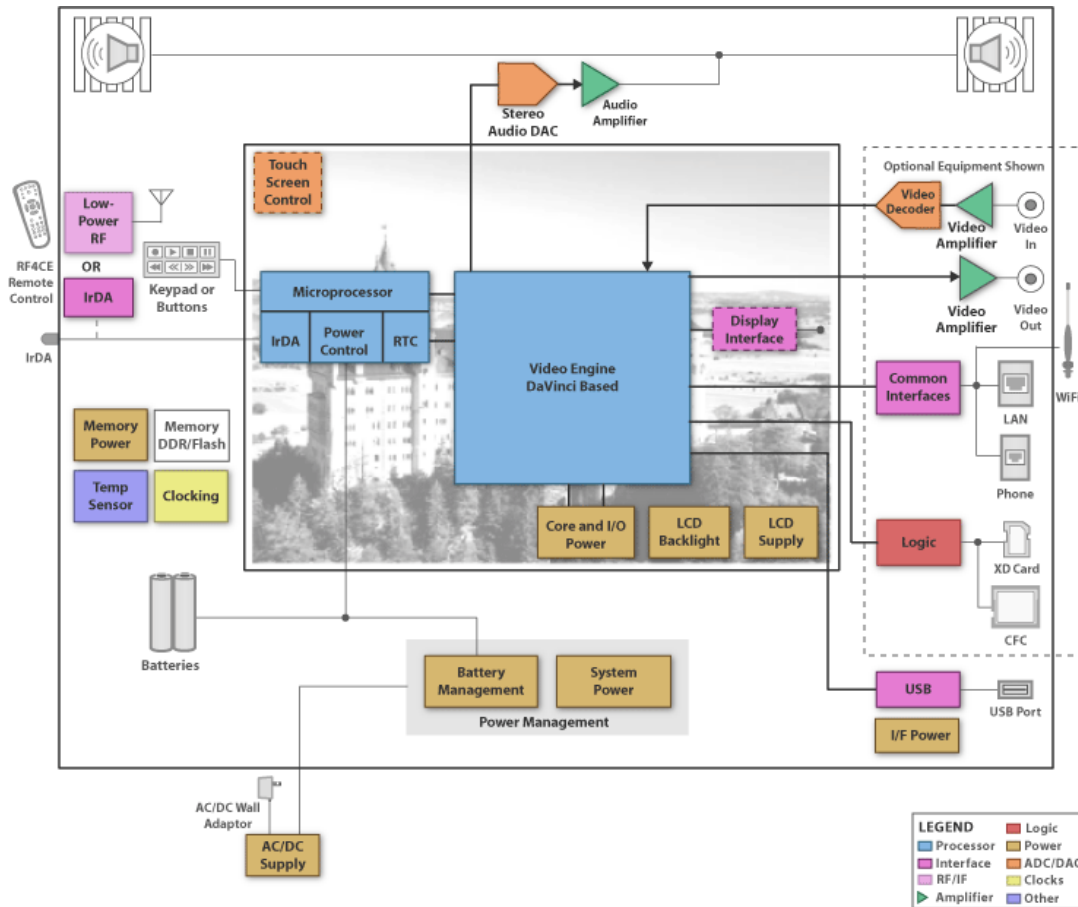


Imagen 1.2. Diagrama esquemático interno de un portarretratos [15].

Finalmente entre otras características está el hecho de que algunos portarretratos poseen control remoto para permitir cambiar ajustes y controlar diversas funciones y características en el momento de visualizar imágenes y elementos de video. Existe también la opción de pantalla táctil para desplegar opciones superpuestas recibiendo información en la misma pantalla a modo de dispositivo de entrada, permitiendo interactuar con el sistema. Por parte de la fuente alimentación los marcos digitales pueden funcionar adecuadamente con corriente eléctrica de red, o sin cable mediante baterías recargables intercambiables, finalmente, muchas empresas involucradas que arman y desarrollan estos artefactos cuidan de la estética cuidando la presentación externa colocando elementos de marcado, de sujeción y de apoyo.[16]



Imagen 1.3. Llavero digital que acopla una memoria interna de 8MB y permite almacenar hasta 150 fotos. [17]



Imagen 1.4. Nueva generación de los portarretratos digitales que imprime imágenes. [18]

Otros dispositivos de características embebidas similares que deben ser tomados en cuenta son los kioscos informativos e interactivos, comúnmente instalados en sitios turísticos y zonas comerciales que funcionan como un escaparate táctil que tienen como finalidad presentar contenidos multimedia actuando como exhibidores informativos, de internet, o también como puntos de información, catálogos virtuales y en algunos casos sirven como terminales de información ciudadana utilizando pantallas touchscreen. [35]

En breve se mencionarán algunos proyectos que combinan las partes de software con los kioscos que en años recientes ha crecido su uso y aplicaciones no sólo en el campo turístico y comercial. Para la construcción de estos dispositivos es importante considerar elementos inmóviles evitando vandalismo incluso se debe habilitar un refuerzo en el monitor y más aun si se trata de alguna pantalla touchscreen.



Imagen 1.5. Kiosco de información comúnmente instalado en lugares concurridos [35]

Las empresas fabricantes de este tipo de dispositivos proveen al cliente diversos servicios como adaptaciones de bases de datos acoplados a parámetros de búsqueda de manera que los usuarios accedan a ésta a través de la pantalla táctil. La función principal de los kioscos interactivos aunados al diseño cumple varios aspectos; primeramente, las necesidades expuestas por el público ávido de buscar información o presentar publicidad dejando clara la necesidad contundente de la introducción tecnológica. En segundo lugar, apoyando las teorías de Screven y Shedroff, el diseño interactivo y mediático proporciona una manera más profunda y significativa de transmitir mensajes [36].

### **1.5. Telescopios panorámicos**

Los telescopios panorámicos son muy populares en sitios turísticos de Estados Unidos y Europa, tan sólo en este último existen más de 1500 telescopios panorámicos que atraen la vista de grandes y pequeños. El telescopio panorámico provee una vista aumentada del entorno donde esté colocado, por eso para fomentar el turismo algunos países acceden a instalarlos en parajes montañosos, partes altas de rascacielos y en diversos tipos de atractivos naturales que provee la orografía correspondiente. De ese modo el usuario puede acceder al servicio ingresando monedas de cierto valor para posteriormente accionar el mecanismo, cabe mencionar que casi todos los telescopios panorámicos del mundo prestan el servicio cuando el usuario introduce la moneda y funcionan de forma mecánica sin requerir electricidad y mucho menos algún tipo de componente electrónico todo esto debido al enorme mantenimiento y costos que requeriría la construcción de cada uno de estos artefactos, sin embargo el grupo de trabajo del proyecto tiene la creencia de que es posible crear un sistema adecuado a este tipo de telescopios panorámicos desarrollando otro tipo de atracción turística que pudiese ser más amena presentando al usuario un entorno re-

construido digitalmente. En la torre Eiffel existe el llamado “Galileo” de la empresa *Euroscope* y ha sido muy afamado por turistas y visitantes locales. Así como este son utilizados en diversos lugares como terrazas e incluso también están ubicados en los principales aeropuertos de Alemania. [19]

El telescopio como propiamente se le conoce es un anteojo de astronomía originalmente y de gran alcance. Los que se usan hoy en los observatorios son sistemas ópticos de tipo refractor y reflector. Dentro de los aspectos básicos del primero se menciona el empleo de un lente o juego de lentes, como objetivo, en un extremo del tubo, para recoger la luz y proyectar una imagen real al otro extremo; ésta imagen es enfocada y ampliada por otro sistema de lentes, el ocular, de manera que los objetos distantes parecen cercanos. Este tipo de sistema óptico es el utilizado por los telescopios panorámicos mientras que para trabajos fotográficos se prefieren los telescopios reflectores donde se usa como objetivo un espejo parabólico o esférico en el fondo del tubo; la luz de los objetos reflejados en este espejo pasa a un foco primario y luego es enfocado por el sistema ocular. La función primaria de un telescopio óptico es recoger la luz y adaptarla a los requerimientos solicitados. [20]

Los primeros telescopios conocidos aparecieron en 1608 y son acreditados a Hans Lippershey, entre otras personas que aseguraron haberlo descubierto fueron Zacharias Janssen y Jacob Metius; el diseño de los telescopios originalmente consistían de un lente objetivo convexo y un ocular cóncavo. Galileo utilizó este diseño al año siguiente. En 1611 Johannes Kepler describió cómo podía elaborarse un telescopio con un objetivo y lente ocular convexo y, para 1655, astrónomos como Christian Huygens ya fabricaban telescopios keplerianos de gran alcance con oculares compuestos pero extremadamente grandes y difíciles de manejar. [21] En el presente existen numerosas compañías que se dedican a fabricar y diseñar telescopios panorámicos turísticos acompañando sus catálogos con algunos otros artefactos de visión relacionados principalmente a la astronomía. Incluso en nuestro país es posible encontrar empresas y proveedoras que aparte de venderlos también ofrecen microscopios, binoculares, telescopios con tragamonedas e incluso instrumentos de medición. [22]

Estos artefactos aparte de ser muy populares en las terrazas de los rascacielos funcionando de modo mecánico evitando el uso de corriente, es que por la parte estructural está fabricado con aleaciones evitando futuras corrosiones causados por los usuarios o condiciones meteorológicas

construyéndose de modo personalizado, es decir, estos artefactos son construidos dependiendo de los rasgos y características solicitadas por el comprador. [23]



Imagen 1.6. Telescopios panorámicos activados por monedas. [37], [24]

Recalcando la idea que se tiene planeada dentro de este proyecto es usar el diseño básico de uno de estos telescopios panorámicos añadiendo elementos electrónicos y de programación para generar una reconstrucción multimedia del entorno sin dejar de lado la estructura y forma de un telescopio panorámico turístico original, es decir, para el presente proyecto propuesto se considerarán elementos de éstos como lo es la estructura que incluyen las bases de apoyo entre otras cosas.



Imagen 1.7. Base de apoyo de un telescopio turístico [25]

Existen algunas empresas que desde principios del siglo pasado se han dedicado a la construcción y mantenimiento de los mismos, adquiriendo experiencia en el diseño y armado tomando en cuenta necesidades de diferentes usuarios como estaturas, uso de anteojos personales, etc. [26]

## 1.6. Máquinas tragamonedas

Es necesario abordar este tema dentro del presente proyecto para conocer su modo de funcionamiento y mecanismos internos que las hacen funcionar, recordando que dentro de los objetivos principales del presente trabajo es construir un sistema visor panorámico asemejándose lo más posible a los actuales y por tanto considerando su mecanismo receptor de monedas y la forma en que pueda acoplarse a este trabajo.

No solo los telescopios panorámicos actuales poseen el mecanismo de monedas sino que existe toda una historia detrás de esto, la historia de los tragamonedas comienza con las denominadas “nickel-in-the-slot”, sin embargo éstas eran muy diferentes de las máquinas tragamonedas conocidas hoy en día. La verdadera primera máquina tragamonedas fue diseñada por Charles Fey, quién la fabricó en 1895 con tres carretes y campanas en la ciudad de San Francisco en Estados Unidos.

La máquina que él diseñó se llamó “Liberty Bell” y es la primera máquina similar a la de nuestros días.



Imagen 1.8. Primer tragamonedas [27]

Esta máquina contaba como se mencionó anteriormente con tres carretes; cada uno con 20 símbolos, la “Liberty Bell” fue la antecesora de las máquinas tragamonedas computarizadas que se conocen en la actualidad. [28]

Otro de los aparatos inventados que también funcionaban introduciendo monedas fue el Kinetoscopio el cual fue el moderno precursor del moderno proyector de película, desarrollado por William Kennedy Laurie Dickson, fue anteriormente un dispositivo exhibidor de imágenes en mo-

vimiento y fue diseñado para que los filmes fueran vistos individualmente a través de la ventana de un gabinete, el Kinetoscopio introdujo la idea básica que vino a transformarse en un estándar para la proyección cinematográfica antes de la aparición del video. Éste creaba la ilusión de movimiento mediante la transmisión de una tira de película perforada con las imágenes secuenciales usando una fuente de luz con un obturador de alta velocidad. Fue en Mayo de 1891 cuando se hizo la primera demostración pública del prototipo del dispositivo, presentándose a más de 150 personas y fue hasta la primavera del siguiente año cuando comenzó a funcionar con sólo introducir una moneda y fue hasta 1892 cuando el diseño fue terminado. [29]

Estas ideas novedosas en su tiempo fueron la punta de lanza para otro tipo de dispositivos que se comentarán más adelante, sin embargo cabe resaltar que todos estos aparatos funcionaban de forma electro-mecánica accionando componentes de gran tamaño que fue necesario acondicionarlos de tal forma que se crearon máquinas de madera y metal bastante grandes.



Imagen 1.9. Kinetoscopio siendo utilizado por un usuario. [30]

Como se ha venido señalando, es en el siglo XIX cuando empiezan a surgir este tipo de máquinas incluidas las máquinas recreativas o de arcadia instaladas en ferias y salones públicos operados por monedas. Por supuesto se trataba de dispositivos mecánicos y no electrónicos, eran muy típicas las que adivinaban el futuro por unos centavos o las que se golpeaban con un martillo para probar la fuerza. [31]



Imagen 1.10. Algunas máquinas tragamonedas de arcadia del siglo XIX [32]

En 1896 la empresa de instrumentos musicales Wurlitzer Company fundada en 1856 lanzó al mercado el Tonophone como el primer piano accionado con monedas. Otro antecedente de la actual rockola, es la Pianola que contaba con la particularidad de interpretar piezas musicales para piano sin la necesidad del pianista. Para ello, contaba con un sistema mecánico, neumático o eléctrico. Podemos decir que éste no fue desarrollado por una sola persona, dada la cantidad de inventos similares que se dieron en el siglo XIX, pero se cree que una de las versiones más famosas fue la creada por Edwin Scout Votey en Detroit, Michigan en 1897. [33]

Durante la década de los 30's las tragamonedas se volvieron populares en los Estados Unidos. A finales de los 40's el Flamingo Hilton de Las Vegas introdujo los tragamonedas como forma de entretener a novias y esposas en los casinos. Las máquinas tragamonedas rápidamente comenzaron a generar sus propios ingresos, y en los 80's los tragamonedas ya generaban la mitad de los ingresos totales de los casinos. Las máquinas se basaban en la curiosidad de la gente, cuando no en su ingenua credulidad. Por eso eran llevadas a ferias y exposiciones para que nuevos curiosos pagaran la moneda, sin embargo llegaron a ser adictivos, por ejemplo en las máquinas de PinBall los jugadores en aquellos tiempos volvían una y otra vez a pagar la moneda para disfrutar de una partida, lo que generó en la instalación de las mismas en bares y cantinas siendo rentables durante años. Es en 1974 cuando Atari junto con KeeGames realizó el primer videojuego que almacenaba los gráficos en chips de memoria ROM y que avanzaba también en otras características técnicas. Se trataba de dirigir un tanque en un laberinto. [31] Fueron pasando los años y las máquinas re-creativas como los juegos de arcadia, los de casino, rockolas, etc., fueron creciendo y adaptándose al gusto de la gente.



Imagen 1.11. Mecanismos de selección de monedas [38], [39]



Imagen 1.12. Sala de casino en la actualidad [34]

### **1.7. Aplicaciones de recorridos en 3D**

Existen varios proyectos relacionados como aplicaciones de software enfocados en la reconstrucción tridimensional de lugares históricos, en ellos se abordan problemas específicos basados en sus respectivas investigaciones realizadas para que el usuario comprenda el recorrido que visualice en su momento. Por tanto, el material gráfico inclinado al usuario engloba lo siguiente:

- a) Logística del recorrido
- b) Selección de lugares comprendidos para el recorrido
- c) Comprensión de nociones históricas relacionadas al sitio.

El software despliega al usuario inicialmente una carátula o interfaz, el funcionamiento de la interfaz y la navegación de recorrido interactivo son diseñados de tal modo que permitan a la gente interactuar con el material gráfico mientras en algunos casos reciben sonidos conformando un ambiente audiovisual no controlable por ellos. El software controla de manera parcial la interac-

tividad mediante la introducción de audiovisuales principalmente debido al tiempo de utilización correspondiente. Según la planeación y logística del recorrido, el visitante no debe invertir más tiempo del necesario en este producto, las aplicaciones de recorridos tridimensionales no deben permitir divagaciones en su utilización por lo que se implementa también un mapa de navegación el cual en su contenido es bastante lineal sin abarcar ligas que profundicen mucho en pantallas.



Imagen 1.13. Recorrido virtual de la zona arqueológica de Cholula propuesto por Figueroa y González de la Vega [36]



Imagen 1.14. Interfaz del proyecto mencionado que pretende contextualizar al usuario en un recorrido virtual que le informe acerca de los túneles, excavaciones explicando las razones de trabajos de arqueólogos, zona arqueológica de Cholula, Puebla. [36]

La pantalla principal de una correcta aplicación contiene un portal principal del sitio interactivo, le permite al usuario conocer datos históricos, en el caso de que se trate de una reconstrucción digital histórica conociendo sus objetivos y finalidades. Visualmente le posiciona dentro del mundo virtual y de este modo irá asociando información que se despliegue ocasionalmente con la opción de comparar su situación con el mundo real, el usuario también interactúa con el manejo de fotografías y texto descriptivo.

Estas aplicaciones contienen también escenas de video complementando los recorridos lo cual resulta interesante al usuario pudiendo ver datos que posiblemente no sean parte del recorrido físico visualizando su ubicación actual; en el caso del proyecto mencionado basado en la pirámide de Cholula en Puebla se visualiza en pantalla un video de la primera pirámide girando sobre su propio eje, que permite comprender la estructura general de la pirámide aparte de que el usuario puede acceder a una línea del tiempo comparativa de las tres etapas constructivas que resalta la etapa visitada en ese momento para luego finalmente leer un texto que explique las características principales de la etapa histórica como se muestra a continuación:



Imagen 1.15. Ejemplo de pantalla interactiva [36]

## Capítulo II. Planteamiento y análisis

En esta etapa se comienza por presentar los pasos necesarios sobre el desarrollo del proyecto y se asume que se conoce el estado actual del campo de estudio habiendo recabado datos de instrumentos y aplicaciones durante todo el capítulo anterior.

### **2.1. Recopilación de datos**

Entre algunos otros proyectos e investigaciones que complementan el presente proyecto se encuentran numerosos trabajos y tesis que pueden utilizarse como fundamento (en referencia a las animaciones e imágenes virtuales) como la tesis presentada en 1999 con el título *Creación de escenarios y recorridos virtuales* de Alejandro Sánchez Zamorano de ésta misma facultad y también *Algoritmos Básicos para el Procesamiento de Imágenes Digitales* de Rafael de la Rosa Flores presentada en 1999.

Desde el punto de vista comercial existen algunas propuestas muy interesantes en relación al manejo y creación de imágenes panorámicas, por un lado se ubican sitios de empresas dedicadas a ello como DevalVR que genera panorámicas y las despliega dentro de la ventana del explorador de internet con opciones de giro de 360° ya sean fotos reales o animadas [40], por otro lado existe la empresa JC Panorama la cual también genera imágenes con posibilidad de giro total y ofrece la oportunidad de acoplarlo a los sitios web de una forma fácil, de este modo es interesante ahondar más en ello debido a la particularidad que tienen éstos últimos respecto al proyecto propuesto con la única diferencia de generar imágenes panorámicas del entorno con su consiguiente paso de *renderización*.

### **2.2. Hardware**

Por la magnitud del proyecto, el cual emplea el uso de aplicaciones multimedia, manejo de interfaces para la manipulación de dispositivos conectados al hardware y estrechamente vinculados al sistema, se comenzará por la parte de hardware, ya que, entre otras cosas nos delimitará las capacidades de las que luego se podrá aprovechar durante la creación del software.

En pocas palabras, el núcleo del sistema (microprocesador, memorias y similares) no es la parte *interesante* del diseño, ya que aunque es muy importante también, no es la característica que destaca a un sistema embebido y le da su personalidad.

Lo que realmente identifica a un sistema empotrado o embebido es su periferia, es decir, las partes extra que realizan la tarea específica para la que se diseña. Por ejemplo; un DAC en un reproductor mp3, las electroválvulas de una lavadora, las fotocélulas de un detector de paso, etc.

La forma en que se conectan estos elementos al núcleo para realizar su control son los que nos indicarán cómo deberemos manejarlos a la hora de desarrollar el software y también, entre otras cosas el coste o rendimiento. Se pueden conectar en determinadas direcciones del espacio de memoria, conectar a través de puertos paralelos, utilizar distintos protocolos de puertos serie (UART, I2C, SPI...).

Y una vez diseñando todo esto a nivel lógico, hemos de pasarlo al mundo real. Es decir, hay que crear la tarjeta electrónica, los cables de conexión, la caja de plástico o del material que sea donde será metido, donde encajar posibles engranes y todas las cosas que sean necesarias para llegar a obtener el producto físico terminado. Muchas veces es el propio espacio físico lo que delimita las posibilidades que se pueden integrar en un diseño.

Y con respecto al futuro del hardware de los sistemas empotrados se puede decir que ya está aquí, cada día la evolución nos va llevando a sistemas que se asemejan cada vez más a las PCs tradicionales; factores tales como: menores precios, mayor integración, mayor producción y estandarización nos conducen hacia elementos que tienden a acercar los diseños en cuanto a tecnología.

Un ejemplo es el nuevo procesador Intel Atom que no es más que una versión reducida de la familia X86 o incluso las tarjetas mini-ITX o pico-ITX que son auténticos PCs pero en una tarjeta de 10x7.5 centímetros.[49]

### **2.3. Selección del sistema empotrado**

Como se mencionó anteriormente, un sistema empotrado contiene componentes de hardware y software lo que requiere de un diseño simultáneo de ambos aspectos, son empleados en muchas plataformas incluyendo robótica y manufactura avanzada. [50]

El principio esencial para determinar al sistema se basa en que básicamente se necesitarían de situaciones de entrada y salida, es decir, el sistema deberá generar ambas situaciones particularmente en el caso de la entrada es por lo general el ingreso de datos, la forma en que se procesa

dependerá de la labor interna de la computadora siguiendo el modelo abstracto de la máquina de estados finitos, o circuito secuencial; los cuales son uno de los dos tipos básicos de circuitos de control que se encuentran en las computadoras digitales.[111] De acuerdo con tal concepto y requisitos establecidos previamente se pueden encontrar en el mercado innumerables sistemas con arquitecturas de hardware idóneas [112], en muchos de estos casos el procesador considerado como el cerebro de la PC viene soldado a la tarjeta madre, por otro lado cuentan con ranuras de expansión para aumentar tanto el disco duro como la memoria interna.

En el caso que nos corresponde, se optó por el sistema TQ-43 de la empresa Taiwanesa e-Way Co. para lo cual fue necesario establecer una comunicación directa enviando misivas y faxes explicando en idioma inglés las características del sistema solicitado; en este caso cabe mencionar que fue algo complicado entenderse con los vendedores debido a la lejanía y la falta de certeza de ambas partes para sellar el trato, es decir; tanto ellos como nosotros en un primer momento no se aseguró por concluida la venta debido a la comunicación un tanto informal mencionando que la mayor parte de la relación compra-venta fue por correo electrónico, seguidamente fue necesario enviar en varias ocasiones documentos vía fax para corroborar la negociación, al dar por hecho esto, surgió otro inconveniente que vale la pena mencionar; la fábrica e-Way tiene sede en Taiwán sin embargo nuestro país no tiene relaciones diplomáticas con él y por ende se generó un cierto grado de incertidumbre [51] a la hora del envío de dinero para comprar el sistema, al final todo esto se resolvió algunos días después aclarando la situación con las oficinas de envío de dinero a ese país. En México al momento de enviar dinero a Taiwán, dentro de los datos del envío oficialmente es reconocida como *Taiwán, Provincia rebelde de China* lo que al final de cuentas genera incertidumbre.

- |   |   |
|---|---|
| ▪  Belize (1989)             | ▪  Palau (1999)                            |
| ▪  Burkina Faso (1994)       | ▪  Panama (1954)                           |
| ▪  Dominican Republic (1957) | ▪  Paraguay (1957)                         |
| ▪  El Salvador (1961)        | ▪  Saint Kitts and Nevis (1983)            |
| ▪  Gambia (1995)             | ▪  Saint Lucia (1984–1997, 2007)           |
| ▪  Guatemala (1960)          | ▪  Saint Vincent and the Grenadines (1981) |
| ▪  Haiti (1956)              | ▪  São Tomé and Príncipe (1997)            |
| ▪  Honduras (1965)           | ▪  Solomon Islands (1983)                  |
| ▪  Kiribati (2003)           | ▪  Swaziland (1968)                        |
| ▪  Marshall Islands (1998)   | ▪  Tuvalu (1979)                           |
| ▪  Nauru (1980–2002, 2005)   | ▪  Vatican City (The Holy See) (1942)      |
| ▪  Nicaragua (1990)          |   |

Tabla 2.1. Lista de naciones que reconocen a Taiwán como nación independiente de China continental [51]

El sistema TQ-43 (desde ahora el *sistema*) adquirido es como el que se muestra en la siguiente imagen, está diseñado para soluciones con limitaciones de espacio físico y aspectos de temperatura, es de peso muy liviano y consume poca energía, estructuralmente está preparado para montajes de video de tipo VESA el cual es un estándar muy usado a nivel internacional para instalaciones de computadoras y monitores en empresas e industrias [53], el sistema se conecta a su adaptador de corriente alterna con salida de 5 volts DC consumiendo un máximo de 2A.



Imagen 2.1. Sistema adquirido, vista superior y frontal con adaptador [52]

De acuerdo con el estándar de fabricación del sistema también es capaz de ajustarse en algunos monitores LCD para ser usado como dispositivo móvil útil para exposiciones, presentaciones, etc. Además el sistema está basado en el diseño FANLESS que es ideal para ser usado en un entorno donde las exigencias de temperatura o espacio de área son limitadas. El sistema puede ser *bootable* o arrancado desde una CF (compact flash) y MicroSD, contiene puertos USB habilitados para conectar cualquier tipo de interfaz USB como las unidades de CD externas, discos duros externos, memorias flash, etc. Entre otros puertos está el PS/2 para conectar teclados y ratones, RS-232 para conectar dispositivos con puertos serial, y un receptor de *jack* RJ-45 LAN. El CPU es un sistema X86 SoC (System on Chip) con 1Ghz de velocidad de procesamiento, una memoria RAM de 512MB programado a base de un AMI BIOS (de American MegaTrend Inc.) con puertos periféricos ya mencionados y una interface adjunta de tipo Enhanced IDE compuesto por un receptor de 44 pines. El sistema tiene una longitud y anchura de 11.5x11.5cms., pesando 510 gramos, con opción para instalar tanto sistemas operativos de Windows (XP, XP Embedded, CE) y Linux (Embedded) [52]. La interface EIDE es una extensión originalmente de IDE y es la denominación que recibe la interfaz más empleada actualmente en las computadoras domésticas cada vez más conocido en aquellas computadoras de altas prestaciones para la conexión de discos duros. [54] En este caso será necesario considerar al momento de la instalación y configuración

del disco duro. Como se muestra en la figura de abajo, el sistema contiene en la parte posterior un puerto para conectar monitores a través del puerto VGA, esto será indispensable al momento de seleccionar el monitor adecuado.

### CONNECTING THE MONITOR



#### VGA Connection

Depending on your choice of viewing, select a conventional CRT or the LCD VGA monitor.

Make your connection by following the reference diagram from the VGA cable of your cable to the 15-pin D-Sub VGA port of system.

Imagen 2.2. Esquema de la parte posterior del sistema

En la parte frontal (ver figura siguiente) se observan las ranuras de puertos USB, CF, micrófono entre otros, es en la ranura CF donde habrá que poner especial énfasis.

### Front cabinet



#### Micro-SD and CF slot

For connection to Device with Compact Flash Card and Micro-SD (T-flash).

#### Microphone/Earphone

The system supports for Microphone Input and Speaker Output

#### USB Ports

The USB ports is available for connection to USB devices such as CD-ROM

Imagen 2.3. Diagrama de la parte frontal del sistema.

Dentro de la ranura para la tarjeta CF vienen dos ranuras con opciones de Master/Slave, dentro de este slot está un pequeño switch con la opción de cambiar alguna de las opciones mencionadas, esto se debe a que el sistema está habilitado para ajustar como IDE principal o secundario cualquier tipo de memoria externa, incluyendo las CF y MicroSD. Ver siguiente figura:



(Inside CF slot)

#### Secondary IDE Master/Slave

Adjust for Compact Flash device to be Secondary IDE Master or Slave

Imagen 2.4. La segunda flecha indica la ranura para insertar memorias MicroSD

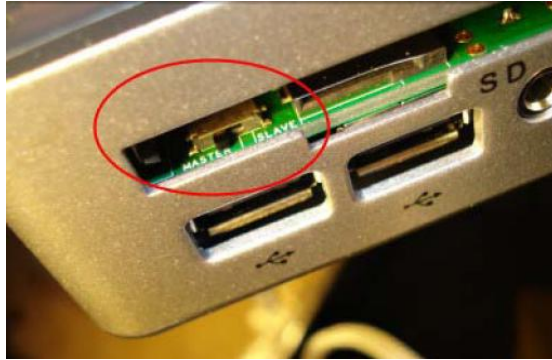


Imagen 2.5. Ubicación del switch Master/Slave

## 2.4. Pantalla LCD

La tecnología LCD utiliza aglomerados de moléculas que se comportan como un cristal líquido colocadas entre diferentes capas que los polarizan y los rotan según si se quiere mostrar un color u otro. Su principal ventaja, además de su reducido tamaño, es el ahorro de energía. Cuando estas pantallas usan transistores TFT entonces estamos hablando de TFT LCDs, los cuáles son los modelos más extendidos. Así que al hablar de una nueva televisión TFT o de algún nuevo monitor TFT es sabido que se trata de un TFT LCD. (TFT es Thin Film Transistor)

- El parpadeo en las pantallas LCD queda sumamente reducido por el hecho de que cada celda donde se alojan los cristales líquidos está encendida o apagada, de modo que la imagen no necesita renovarse, se enciende o se apaga.
- La geometría perfecta viene dada porque cada celda que contiene un cristal líquido se enciende o apaga individualmente, y por lo tanto no hay problemas de convergencia.

Las ventajas de este tipo de pantallas son:

1. Su menor tamaño (de 5 a 105 pulgadas)
2. El bajo consumo de energía
3. La desaparición de los problemas de parpadeo

La resolución máxima, que es dada por el número de celdas de cristal líquido realmente existentes en la pantalla. Al no requerir el uso de un único tubo de imagen, los monitores LCD tienen un tamaño, especialmente un fondo mucho menor.

Las ventajas y de desventajas de las pantallas LCD respecto a las Pantallas de plasma son las siguientes:

**En el aspecto de Área de visión:** Son pocas las pantallas de plasma de tamaño pequeño. Las de LCD son populares en aplicaciones como sistemas de entretenimiento móvil y teléfonos celulares. En el otro extremo ambos tipos pueden rebasar las 60 pulgadas.

**Dimensiones de peso y equipo:** Tanto plasmas como LCD son delgadas y ligeras, en comparación con las antiguas pantallas de CRT de similares dimensiones.

**Ángulo de visión:** Es mayor en el caso de las plasmas.

**Vida útil:** Superior a las 10 mil horas.

**Aspectos del color:** LCD tiene imágenes más claras y colores más vivos. Las plasmas tienen mayor diversidad y precisión de color.

**Brillantez:** Es superior en LCD.

**Colores negros:** Las plasmas definen de mejor manera los negros, mientras las pantallas de LCD muestran tonos oscuros de gris.

**Nivel de contraste:** Superior en plasma.

A nivel local es posible encontrar pantallas LCD del tamaño apropiado sin embargo están acopladas lo cual es un serio problema si sólo se necesita del monitor, ejemplo de ello son las pantallas de la siguientes imágenes, son pantallas de cristal líquido (TFT-LCD) de 5 pulgadas fabricadas para ser acopladas en el interior de un automóvil con sintonizador de TV para canales de televisión abierta, tienen entradas de señal de video auxiliares los cuales podrían servir para conectar al sistema, cuentan con funciones de brillo, contraste, color, nitidez y tinte. Con alimentación de 12 Vcc y de pequeñas dimensiones que no sobrepasa los 36 cm. de frente.



Imagen 2.6. Pantallas LCD posibles de obtener en la localidad. [55]

Existen otras opciones de elección de monitores LCD, aparte existen varias posibilidades como desarmar algún equipo de cómputo de años atrás y simplemente utilizar su monitor, sin embargo esto a la larga resultará desastroso debido a las diversas incompatibilidades que se presenten a futuro. Entre algunas otras opciones está el seleccionar un módulo OLED 2.4" Active Matrix como el que se muestra en la imagen siguiente; los dispositivos OLED (Organic Light-Emitting

Diode) es generalmente un diodo basado en una capa electroluminiscente formada por una película de componentes orgánicos que reaccionan a una determinada estimulación eléctrica, generando y emitiendo luz por sí mismos. Existen muchas tecnologías OLED diferentes, tantas como la gran diversidad de estructuras y materiales que se han podido idear para contener y mantener la capa electroluminiscente, así como según el tipo de componentes orgánicos utilizados.



Imagen 2.7. Propuesta de uso de tecnología OLED

Las principales ventajas de las pantallas OLEDs es que son más delgadas y flexibles con más contrastes y más brillos, mayor ángulo de visión y menor consumo; por ello el OLED puede ser usado en todo tipo de aplicaciones como pantallas de televisión, pantallas de computadora, de dispositivos portátiles, etc. con formatos que irán desde unas dimensiones pequeñas (2 pulgadas) hasta enormes tamaños [73]. Para el proyecto que se tiene en mente se consideró su implementación sin embargo, la mayor parte de estas tecnologías están en proceso de investigación, y los procesos de fabricación son económicamente elevados, a no ser que se apueste por un diseño que se utilice en economías de escala, y en el caso más particular se tendría que recurrir a la construcción de algún tipo de adaptador VGA para conectarlo con el sistema adquirido lo cual resulta muy complicado debido a que se está hablando de micro-soldaduras profundizando en el concepto de matriz de puntos programando propiamente la interfaz de salida conectando y configurando cada uno de sus 5 pines de salida (VCC, TX, RX, GND, RESET). [74]

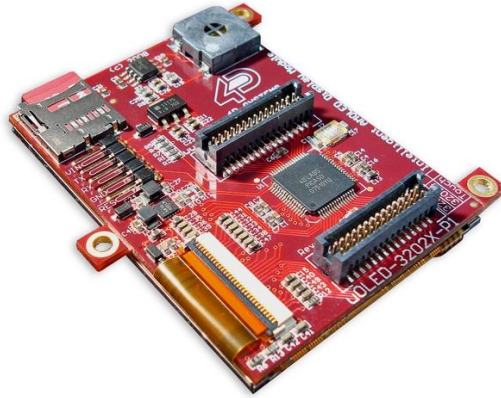


Imagen 2.8. Parte posterior de la pantalla OLED [74]

En relación a lo anterior se debe evitar adquirir un Panel LCD de tipo OLED de características básicas aunque el costo sea menor exigirá un trabajo mayor para soldar y adaptarlo para la interfaz del sistema.



Imagen 2.9. Conector de señal de entrada de 20 pines tipo DF-19L-20P-1H del panel LCD OLED, el costo de este LCD ronda los 18 dólares sin embargo este es su único puerto de salida el cual habría que adaptar. [75]

Existe una segunda opción y es adquirir un monitor totalmente equipado incluso con touchscreen de tipo 5-wire, puerto VGA e interfaz USB, como el que se muestra en la siguiente imagen:



Imagen 2.10. Monitor LCD TFT con conexión VGA [76].

Este tipo de monitores son fabricados para un máximo rendimiento ya sea para uso en el automóvil, equipamiento industrial y/o uso en servidores, soportando rangos de temperatura de hasta 70°C. La desventaja principal de este tipo de monitores es el costo el cual oscila en los 350 dólares. [76]

Finalmente se optó por elegir un monitor con características y rendimientos básicos, este dispositivo está también disponible por parte de la misma empresa que oferta el Sistema.

El monitor seleccionado es también compatible con el estándar VESA, de 8.4 pulgadas de tamaño con puerto de salida VGA y clasificado como Open Type Module con una relación de pantalla 4:3. [72]



Imagen 2.11. Monitor seleccionado [72]

Entre algunas de las especificaciones del monitor están las siguientes:

Monitor Open Type Module / radio 4:3		
Panel	Cell Type	Panel LCD TFT de tipo color active
	Disposición de pixeles	Banda vertical RGB
	Superficie de cristal	Revestimiento anti-reflejo
	Número de pixeles	640(H)x480(V)
	Tamaño de pixel(H)x(V) (mm)	0.2535x0.2535
	Tamaño de display	8"
	Área activa (H)x(V) (mm)	162.2x121.7
	Profundidad del color	262K colors
	Fuente de luz	Vida duradera de hasta 50,000 horas
	Brillo	400 cd/m <sup>2</sup>
Señal de entrada	Video	RGB análogo
	Frecuencia	Fv: 60-75Hz
Resolución	Soportada	1024x768@60 /70 /75 Hz
	Recomendada	800x600@60Hz
Fuente de poder	Voltaje de entrada	DC: 12V / 1ª
Condiciones de operación	Temperatura	0°C a 70°C
	Humedad	10% hasta 90% (sin condensación)

Condiciones de almacenamiento	Temperatura	-25°C a 70°C
	Humedad	10% hasta 90% (sin condensación)

Tabla 2.2. Especificaciones del monitor

Un gran número de monitores son compatibles con el estándar VESA. Los fabricantes de monitores han acordado un estándar de interfaz de la industria, lo que significa principalmente un patrón de agujeros en la parte posterior, trasera o visual de la pantalla que encaja en paredes, escritorios o montajes en techos. [53]

Esta es una opción es muy útil para el proyecto en desarrollo ya que el monitor irá atornillado a la estructura general funcionando de forma sincronizada con el sistema, el armado de la estructura se relatará en el capítulo siguiente, en el que se considerarán los aspectos técnicos más relevantes de los elementos físicos del sistema en general, en la siguiente imagen se presenta la estructura técnica del monitor vista desde la parte frontal.

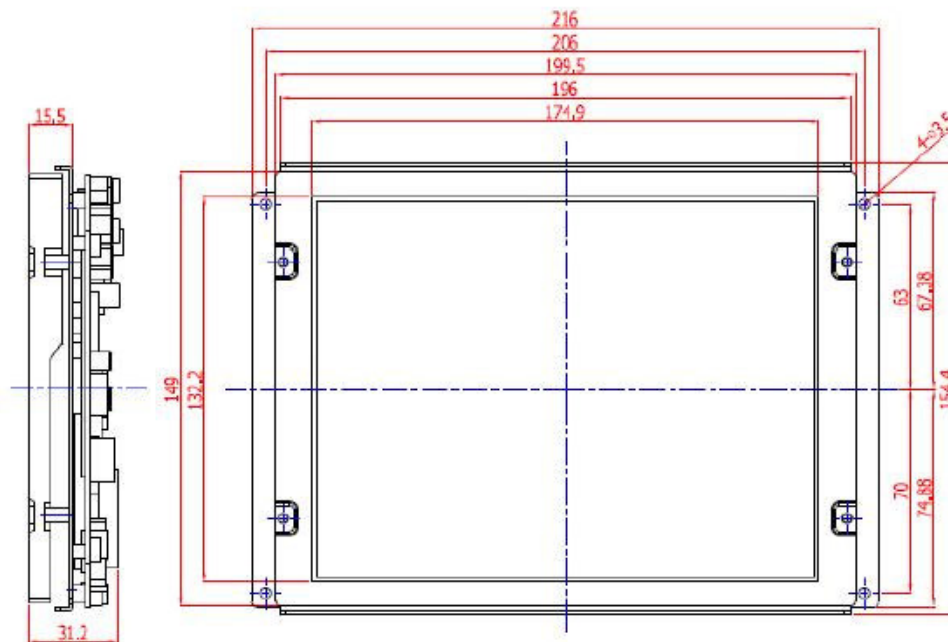


Imagen 2.12. Diagrama de aspectos técnicos del monitor basado en el estándar VESA [72]

## 2.5. Sistema de detección de giros

Respecto a este punto cabe mencionar que existen varios instrumentos que indican la posición de giro como podría ser el caso del potenciómetro el cual es un resistor al que se le puede variar el

valor de su resistencia y de esta forma indirectamente se puede controlar la intensidad de corriente que exista por una línea, incluso existen los potenciómetros digitales y rotatorios, estos últimos se controlan girando su eje siendo más habituales y ocupan poco espacio. [57]

Los potenciómetros pueden ser usados solos o pueden conectarse a un sensor mecánico para convertir un movimiento mecánico en una variación eléctrica y al existir un movimiento mecánico dado se produce un cambio en la resistencia lo que podría ser usada en muchas aplicaciones industriales mientras que con completa seguridad se puede decir que no son adecuados para aplicaciones de medición como se analizará mas adelante. [58]

Existen también los llamados trimmers o potenciómetros multivuelta que también son pequeños resistores ajustables con destornillador sin embargo esta idea está más que desechada. [59]

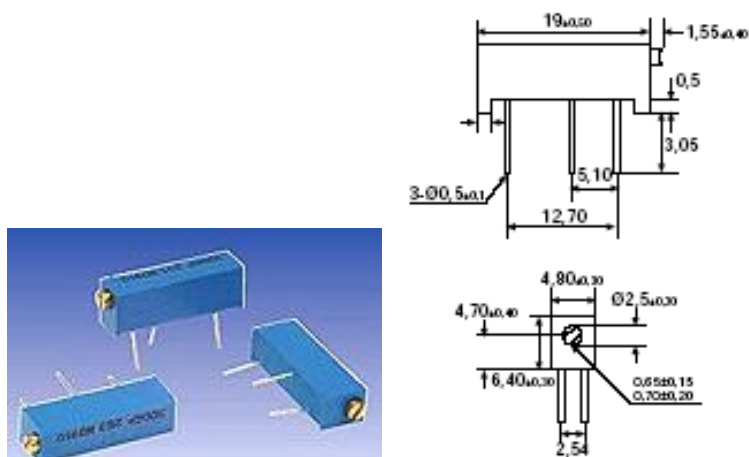


Imagen 2.13. Potenciómetro multivuelta y su respectivo diagrama [60]

Respecto a los potenciómetros; podrían ser considerados como una opción de giro sin embargo el resultado daría un sistema fuera del alcance abordado por el proyecto principal debido a que es necesario implementar algún tipo de circuito que convierta los valores de corriente analógicos a digital y de ahí traslade los datos al sistema empujado. Otra desventaja es lo costoso que resultaría armarlo (existen proveedores casi nulos de éste) y el tiempo resultante en armar tal circuito recabando datos sobre éste para conocer su configuración.



Imagen 2.14. Potenciómetro motorizado, por sus características no resulta idóneo para el objetivo propuesto. [61]

Concluyendo respecto a la elección del dispositivo de giro existen indicios que el potenciómetro de cualquier tipo tendrá desgaste mecánico por fricción de la pista resistiva por lo que otra opción que también se recomienda es un *rotary encoder* el cual casi no tiene desgaste, no hay fricción y la lectura es óptica. Sin embargo como se mencionó anteriormente el encoder necesita de algún tipo de interfaz digital por lo que se requeriría de un trabajo mayor alejándose del prototipo ideal principal, por ello la solución más apta hasta ahora es la implementación de una brújula digital, la cual consume muy poco voltaje y posee un tamaño diminuto funcionando a modo de recepción y envío de datos como se detallará un poco más adelante. [62]

## **2.6. Brújula digital**

La brújula es un instrumento de orientación que en algunos casos consiste en una esfera o elemento parecido que indica los rumbos y una aguja o barrita imantada puesta en equilibrio sobre una púa que apunta permanentemente hacia el norte magnético. [65]. Desde el punto de vista de la orientación su uso se limita a lo más simple, orientar el mapa correctamente identificando nuestra posición obteniendo una dirección o rumbo a un punto de referencia.

Las brújulas constan de tres elementos fundamentales, el primero es la aguja imantada la cual suele ser de acero y va montado en una esfera o limbo señalando con una de sus puntas siempre al norte magnético, si se coloca cerca de elementos metálicos o fuentes de electricidad pueden modificar o alterar su comportamiento. Otro elemento es el limbo o esfera graduada el cual es un círculo donde gira la aguja de la brújula. El sistema habitual de graduación es el sexagesimal que divide al círculo en 360 grados, la esfera puede ser fija moviéndose sólo la aguja o pueden moverse ambos.

Como último elemento se menciona la caja o chasis la cual es la estructura donde se alojan los dos elementos anteriores y al resto de elementos si los hubiera dependiendo del diseño de la brújula. Algunas brújulas más complejas están compuestas por un clicómetro con el cual se puede ubicar el norte real, un escalímetro que es utilizado para realizar mapas topográficos, pelo de azimut el cual sirve para enfocar objetos a grandes distancias obteniendo la posición del mismo en grados, etc. [48]

La brújula es un instrumento muy antiguo la cual los chinos afirman haberla descubierto hace más de 2500 años antes de Cristo y es probable que se haya usado en algunos países de Asia oriental hacia el tercer siglo de la era cristiana, tiempo más tarde Marco Polo la introdujo en Europa. La brújula (de “buxula”, cajita hecha de boj o boxus) es también adjudicada a un armero de

Positano, Italia, Flavio Gioja, entre los siglos XV y XVI. Él fue quien la perfeccionó suspendiendo la aguja sobre una púa como la que actualmente conocemos. Más tarde apareció la rosa de los vientos, compuesta por un disco con marcas de divisiones de grados y subdivisiones que señalaba 32 posiciones celestes. Posteriormente la brújula fue perfeccionada por Sir William Thompson (Lord Kelvin) y a comienzos del siglo XX aparece la brújula giroscópica, consiste en un giróscopo cuyo rotor gira alrededor de un eje horizontal paralelo al eje de la tierra, actualmente se le han agregado dispositivos que corrigen la desviación, la velocidad y el rumbo. Esta brújula giroscópica o girocompás señala al norte verdadero mientras que la brújula magnética justamente señala al norte magnético. [63]



Imagen 2.15. Brújula convencional moderna [64]

Otro concepto fundamental es el campo magnético terrestre cuyos polos no coinciden con los polos geográficos, fue el inglés William Gilbert quien lo demostró con sus experimentos. Existen varias teorías que tratan de explicar la causa del magnetismo terrestre. Una de ellas señala lo siguiente: la tierra contiene una gran cantidad de depósitos de mineral de hierro los cuales se magnetizaron en forma gradual y prácticamente con la misma orientación, por ello actúan como un enorme imán. Otra teoría explica que el magnetismo terrestre se debe a las corrientes eléctricas que circulan alrededor de la tierra, tanto en la corteza terrestre como en la atmósfera. [66]

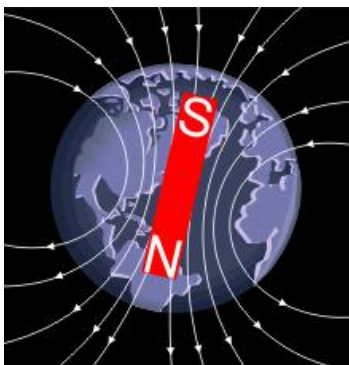


Imagen 2.16. Campo magnético terrestre [67]

Debido a que la inclinación e intensidad del campo magnético terrestre varía a diferentes latitudes, las brújulas son generalmente balanceadas durante su fabricación. Este balanceo previene medidas erróneas de la brújula debido a las mencionadas variaciones del campo magnético. La mayoría de los fabricantes balancean sus brújulas para una de las cinco zonas terrestres, que van desde la zona 1, que cubre la mayor parte del hemisferio norte hasta la zona 5 que cubre Australia y Nueva Zelanda.

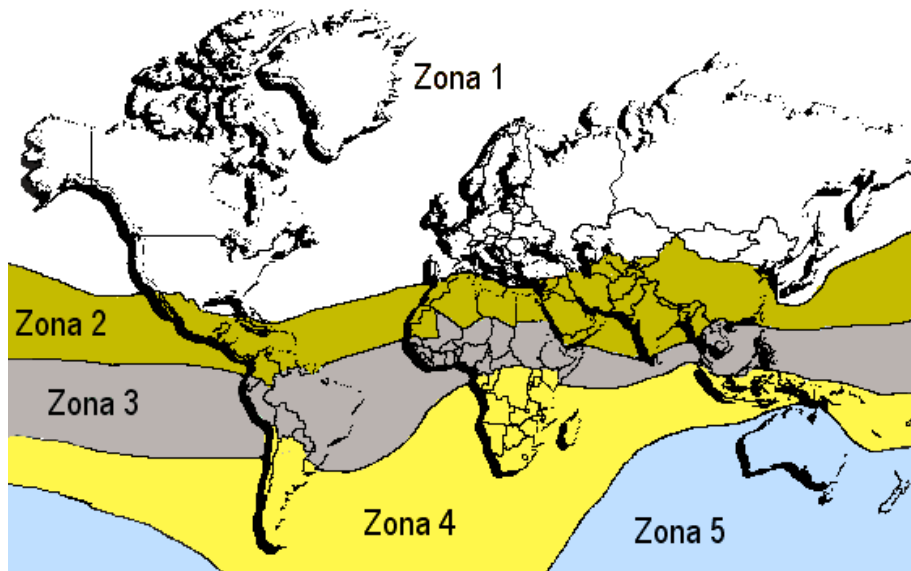


Imagen 2.17. Mapa de las zonas terrestres usado para balanceo de brújulas [68]

De acuerdo con esto, se conoce que una brújula común genera un tipo de señal analógica la cual se produce en forma continua sin saltos bruscos, por decirlo de alguna forma, de tal modo resulta inservible para la tarea que se tiene en mente por lo que no será necesario explicar a fondo el porqué usar una brújula que emita una señal digital (la cual nos es útil para capturar la información de dirección) [116].

En nuestro caso se tiene la opción de utilizar una brújula electrónica llamada CMPS03 y desarrollada por Devantech [41] la cual cuenta con la capacidad de medir el campo magnético de la tierra a través de dos sensores KMZ51 colocados dentro del circuito de forma perpendicular, de esa forma la brújula manda el ángulo en grados a los que está ubicado el norte respecto a una referencia como se muestra en la imagen: [41]

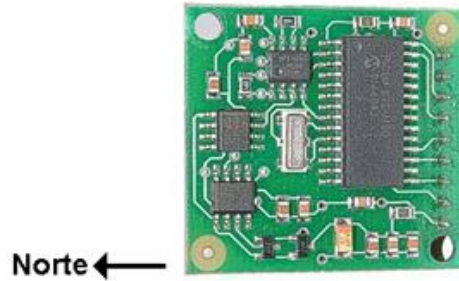


Imagen 2.18. Ubicación del Norte geográfico

La brújula a utilizar está compuesta por 2 sensores KMZ51, estos determinan el campo magnético de la tierra para después enviar esa señal a un amplificador donde posteriormente es trasladada a un PIC o microcontrolador donde la señal se procesa y se prepara para ser enviada. El sensor KMZ51 es uno de los sensores que más se ocupan para este tipo de aplicaciones de orientación. En el siguiente diagrama se muestran los bloques principales de cualquier brújula electrónica, los bloques funcionales pueden consistir de; un sensor de campo KMZ52 o dos sensores KMZ51 perpendiculares entre sí.

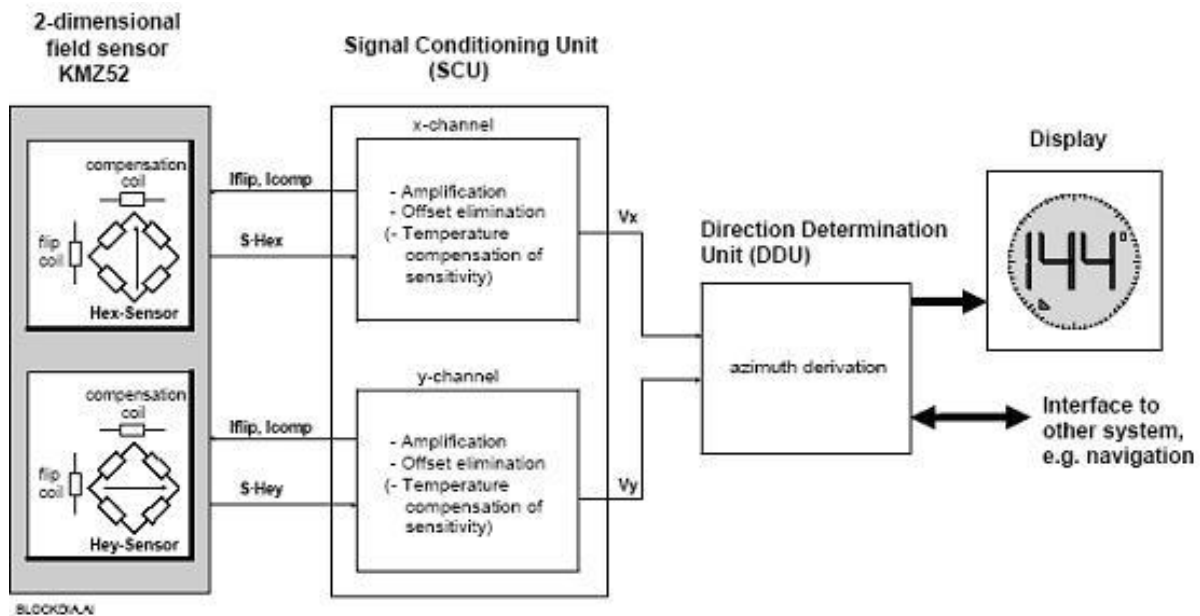


Imagen 2.19. Diagrama de bloques de la brújula electrónica [43]

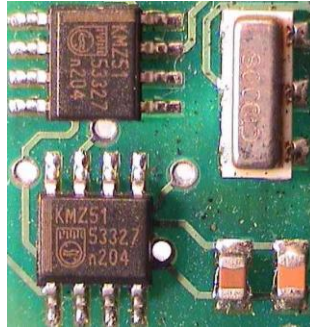


Imagen 2.20. Ubicación perpendicular de ambos sensores KMZ51 [44]

Tanto el KMZ51 como el KMZ52 son semiconductores de Philips y son sensores de campo magnético especializados para las aplicaciones de brújulas. Ambos sensores confían en el efecto magneto-resistivo, proporcionan la sensibilidad y linealidad requerida para medir el débil campo magnético de la tierra. [45]

Mientras que el KMZ51 es solo un sensor para un eje del campo, el KMZ52 comprende un sensor del campo bidimensional, es decir, para que fuese bidimensional con el sensor KMZ51 se requeriría colocar dos en forma perpendicular a cada uno para que cubran los 2 ejes. Ambos dispositivos tienen integrado el circuito de ajuste-reajuste y una bobina de compensación, estas bobinas permiten aplicar la técnica para la cancelación de compensación y la retroalimentación electromagnética para la eliminación de la sensibilidad con la temperatura. Para los sensores del campo magnético dentro de la brújula electrónica, la magneto-resistividad (MR) es la solución preferible. Esta tecnología de MR ofrece una solución efectiva, no requiere hacer o enrollar ninguna bobina y puede fabricarse en un circuito integrado. Además los sensores de MR son también superiores a los sensores de efecto Hall en este proyecto debido a su mayor sensibilidad.

Además de los elementos del sensor, se requiere una señal acondicionada y una unidad de dirección fija como es el Norte magnético. Las funciones principales de la señal acondicionada es la amplificación a la salida del sensor y tener la referencia específica. En la determinación de la dirección, el acimut se deriva como la cantidad de rendimiento de la brújula deseada. La unidad determinada de dirección (UDD) es el norte magnético. El acimut es el ángulo entre el norte magnético y la dirección que se esté indicando. Para las brújulas de alta definición, este cálculo tiene que ser hecho matemáticamente aplicando el arco-tangente de la proporción de las dos señales, el norte magnético y la señal del sensor. Para las brújulas ordinarias más simples sólo usan 8

segmentos que indican el punto cardinal más cercano o punto intermedio (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW).

En breve se comentará lo relacionado a la calibración de las brújulas electrónicas evitando fuentes de error externas como los campos de interferencia magnéticos y la desviación entre el Norte verdadero y magnético; todo esto es de suma importancia para el trabajo presente para saber coordinar la brújula con el sistema determinando la ubicación de giro sin ningún error.

La fuerza del campo magnético varía con la ubicación y cubre aproximadamente el rango de 20 a 50 A/m. Una comprensión de la forma del campo magnético de la tierra se puede adquirir si se asume que es generado por un imán y una barra magnética dentro de la tierra como se planteó anteriormente. Las líneas del campo magnético apuntan del polo sur de la tierra a su polo norte, y como se puede observar es opuesto a la convención física de los polos de cualquier imán de barra magnética (las condiciones son históricas donde la barra magnética siempre ha tenido como polo norte o positivo a la parte superior). Las líneas del campo son perpendiculares a la superficie de la tierra en los polos y paralelas en el ecuador, por tanto el campo de la tierra apunta hacia abajo en el hemisferio norte y para arriba en el hemisferio sur. Un factor importante es que los polos magnéticos no coinciden con los polos geográficos que son definidos por el eje de rotación de la tierra, el ángulo entre el eje magnético y de rotación es de aproximadamente  $11.5^\circ$ . Como consecuencia, las líneas del campo magnético no señalan exactamente al Norte verdadero o geográfico. La siguiente figura muestra una representación 3D del vector del campo de la tierra ( $H_e$ ) a algún punto de la tierra, esta figura permite definir las cantidades que son de importancia para una brújula. Las coordenadas 'x' y las coordenadas 'y' son paralelas a la superficie de la tierra si se considera que la coordenada 'z' apunta verticalmente hacia abajo.

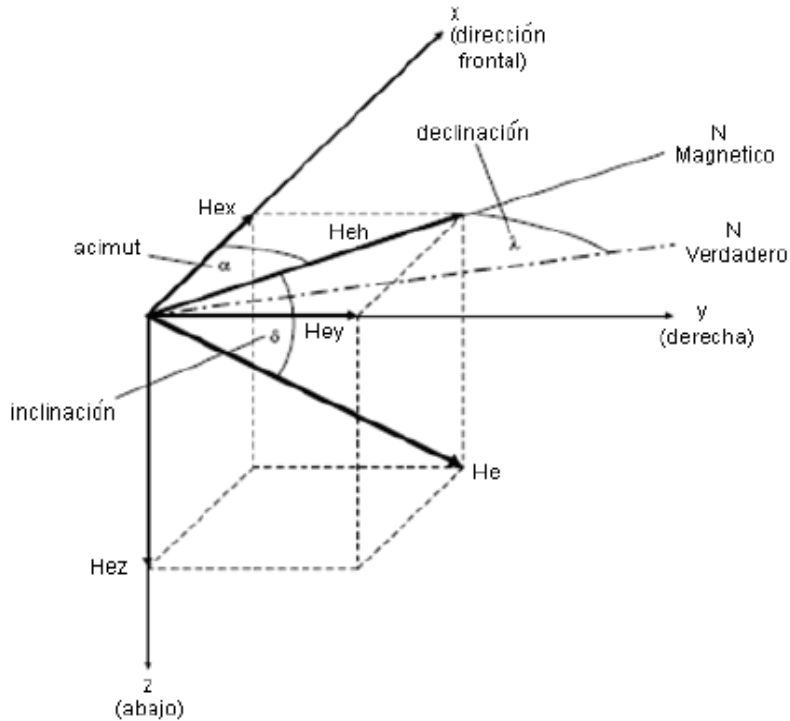


Imagen 2.21. Diagrama del vector del campo de la tierra [46]

El acimut es el ángulo entre el norte magnético y la dirección frontal (Hex). El norte magnético es la dirección de Heh, los campos de la tierra presentan el componente perpendicular de la gravedad. Se tiene que Heh se referirá al componente *horizontal* del campo de la tierra y de acuerdo al diagrama anterior tenemos lo siguiente:

$$\bar{\alpha} = \arctan \left( \frac{Hey}{Hex} \right) \quad (1)$$

Donde  $\alpha$  es el acimut el cual es la cantidad que indica una brújula. El ángulo  $\alpha$  se cuenta en el sentido de las agujas del reloj del norte magnético, es decir, el Norte es  $0^\circ = 360^\circ$ , el Este es  $90^\circ$ , el Sur es  $180^\circ$  y el Oeste  $270^\circ$ .

Otros valores que se muestran en el diagrama es la inclinación ( $\delta$ ); es el ángulo entre el vector de campo de la tierra y el eje horizontal, como ya se señaló la inclinación varía con la situación real en la tierra, mientras siendo cero en el ecuador y acercándose a  $90^\circ$  cerca de los polos. Si la brújula es inclinada, entonces esta inclinación tiene que ser considerada. La declinación ( $\lambda$ ) es el ángulo entre el norte geográfico o verdadero y el norte magnético. La declinación es dependiente en la posición real en la Tierra; también tiene un término de tendencia larga. La declinación pue-

de ser al Este o al Oeste y puede alcanzar valores de aproximadamente 25°. El acimut medido por una brújula tiene que ser corregido por la declinación para encontrar la dirección frontal (Hex) con respecto al norte geográfico.

Como se mencionó anteriormente, la tarea de una brújula electrónica es la medición del acimut, es decir, el ángulo entre el Norte y la dirección frontal por consiguiente, las dos fuerzas horizontales del campo de la Tierra tienen que ser medidas: uno en el eje 'x' y otro en el eje 'y'; esto requiere de dos sensores de campo magnético, los dos alineados paralelamente a su eje y con un giro de 90 grados respecto a ellos mismos. [48]

El sensor KMZ52 (que son 2 KMZ51 girados 90 grados uno del otro) es un dispositivo que queda muy bien para esta aplicación, ya que tiene dos sensores de campo sumamente sensibles en la configuración requerida por el eje 'x' e 'y'. Además el KMZ52 comprende para cada uno de sus sensores KMZ51 un circuito integrado de ajuste-reajuste con la bobina de compensación, así que, el KMZ52 hace obsoleta cualquier bobina externa.

El efecto magneto-resistivo data de 1856, donde Thompson observó este efecto aunque no se encontró ninguna aplicación práctica, posteriormente, con los semiconductores se empezó a utilizar como detectores de movimiento. La gama de sensores magneto-resistivos de Philips está caracterizada por su alta sensibilidad en la detección de los campos magnéticos en un amplio rango de temperatura de trabajo, con un *offset* muy bajo y estable, y con una baja sensibilidad a la tensión mecánica. Por lo tanto, son un excelente medio de medida tanto en el desplazamiento lineal como en angular bajo condiciones ambientales extremas en aplicaciones de automoción o maquinaria. Otra aplicación de los sensores magneto-resistivos es la medición de velocidad rotacional. [47]

Un ejemplo donde las propiedades de los sensores magneto-resistivos pueden ser útiles es en las aplicaciones de automoción como detección de velocidad de una rueda para el ABS, en sistemas de control de motores y en detectores de medición de la posición de un chasis, en la medición de posición de válvulas o de los pedales, etc. Otro ejemplo, es la instrumentación y control de equipos, que frecuentemente requieren sensores de posición capaces de detectar desplazamientos en la región de las décimas de milímetro y en sistemas de ignición mecatrónica donde se tiene que poder determinar con gran precisión la posición angular de un motor de combustión. Debido a su alta sensibilidad los sensores magneto-resistivos pueden medir campos magnéticos muy débiles y

son ideales para aplicaciones en brújulas electrónicas, corrección del campo de la Tierra y detección de tráfico.

Los sensores magneto-resistivos (MR) usan el efecto magneto-resistivo, dicho efecto es la propiedad de una corriente transportando material magnético para cambiar su resistencia en la presencia de un campo magnético externo. La siguiente figura muestra una barra de material ferromagnético llamado Permalloy (19% Fe., 81% Ni.)

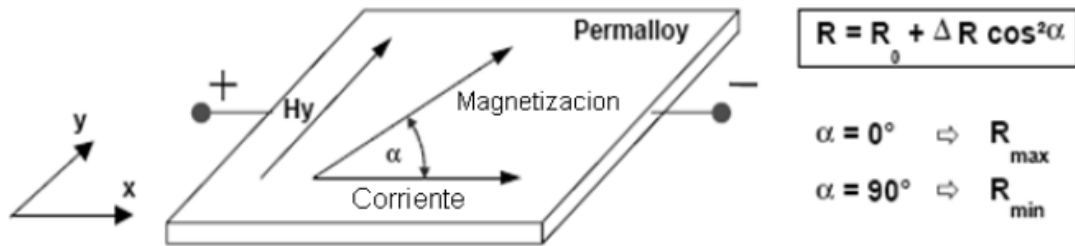


Imagen 2.22. Efecto magneto-resistivo en el Permalloy

Durante la exposición de la barra de Permalloy, se aplicó un fuerte campo magnético externo paralelo al eje de la barra; haciendo esto, se define la preferencia de la dirección de la magnetización dentro de la barra, en ausencia de cualquier campo magnético externo, la magnetización siempre apunta en esta dirección. En la figura anterior se asume en la dirección “x”, la cual también es la dirección de flujo de la corriente. Un sensor MR se basa en dos efectos básicos:

- a) La resistencia  $R$  de la barra depende del ángulo  $\alpha$  entre la dirección de la corriente y la dirección de la magnetización.
- b) La dirección de la magnetización  $y$ , por lo tanto,  $\alpha$  puede ser influenciado por un campo magnético externo  $H_y$ , donde  $H_y$  es paralelo al plano de la barra y perpendicular a la dirección deseada.

Cuando un campo magnético externo no está presente, el Permalloy tiene un vector paralelo de magnetización interno a la dirección deseada, es decir,  $\alpha=0$ . En este caso, la resistencia  $R$  de la barra tiene su valor máximo  $R_{max}$ . Si ahora un campo magnético externo  $H_y$  es aplicado, el vector interno del Permalloy rotará alrededor del ángulo  $\alpha$ . En campos de fuerza grandes, la magnetización tiende a auto-alinearse en paralelo a  $H_y$  y el ángulo de rotación  $\alpha$  se acercará a los  $90^\circ$ . En este caso, la resistencia alcanza su valor mínimo  $R_{min}$ , la ecuación que acompaña al diagrama anterior da la dependencia funcional entre  $R$  y  $\alpha$ , donde  $R_0=R_{min}$  y  $R=(R_{max}-R_{min})$ . La función

de  $R$  y  $\alpha$  donde  $R_0=R_{\min}$  y  $\Delta R=(R_{\max}-R_{\min})$ . Finalmente, la función de  $R$  en contra  $H_y$  es como sigue:

$$R = R_0 + \Delta R \left[ 1 - \left( \frac{H_y}{H_0} \right)^2 \right] \quad (2)$$

En esta ecuación  $H_0$  es un parámetro que depende del material y geometría de la barra y además la ecuación (2) está definida por las magnitudes de campo de fuerza de  $H_y < H_0$ . Para  $H_y > H_0$  es igual a  $R_0$ .  $R_0$  y  $\Delta R$  son parámetros del material también. Para el Permalloy,  $\Delta R$  está en el rango de 2 a 3% de  $R_0$ .

La siguiente figura ilustra la característica del sensor de acuerdo con la ecuación (2). Para magnitudes pequeñas de  $H_y$ , la sensibilidad es muy baja y no lineal. Además esta característica no permite detectar, si  $H_y$  es positivo o negativo. Por lo tanto la estructura básica del sensor de la figura anterior (Imagen 37) tiene que mejorarse para aplicaciones de una brújula.

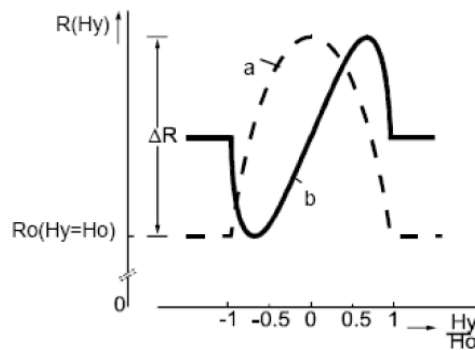


Imagen 2.23. (a) Línea punteada: Características de sensor estándar R-H

(b) Línea continua: Características de sensores "Barber Pole"

Las mejoras deseadas del sensor pueden ser alcanzadas depositando tiras de aluminio (llamado barber pole) encima de la barra Permalloy en un ángulo de  $45^\circ$  al eje de la barra. La siguiente figura demuestra el principio. Como el aluminio tiene una conductividad mayor al Permalloy, el efecto "barber pole" es la de rotar la dirección de la corriente en  $45^\circ$  cambiando el ángulo entre la magnetización y la corriente eléctrica de  $\alpha$  a  $(\alpha-45^\circ)$ .

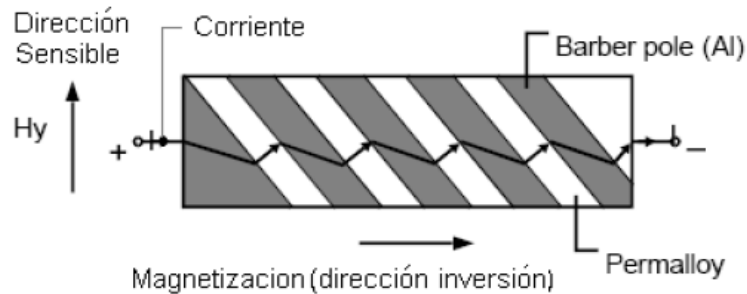


Imagen 2.24. Diagrama de sensor barber pole

Los semiconductores Philips ofrecen en este momento dos productos de sensores, dedicados a este campo de aplicación. Ambos productos emplean la estructura “barber pole” con su linealidad inherente y alta sensibilidad. El dispositivo primario es el KMZ52 el cual comprende todos los elementos de un sistema sensor de brújula dentro de un solo paquete, es decir, dos sensores de campos débiles con 90 grados de desplazamiento, entre ellos cada uno teniendo una bobina de ajuste/reajuste y de compensación. El KMZ51 es un solo sensor con bobina de ajuste/reajuste y de compensación. Este puede ser empleado junto con el KMZ52 para formar un sensor tridimensional para compensar la inclinación.

El UAS o unidad de acondicionamiento de la señal consiste en 2 canales separados llenando la tarea básica de amplificar la salida de voltaje del sensor en sus campos ‘x’ e ‘y’.

El propósito de este bloque es entregar los voltajes del rendimiento proporcional a las fuerzas del campo  $H_x$  y  $H_y$  respectivamente. Por consiguiente las señales entregadas por los sensores del campo magnético tienen que ser amplificadas. También los desplazamientos tienen que ser eliminados. Más allá de eso, la amplificación de estas señales debe de ser exacta para permitir la compensación de diferencias de sensibilidad entre el eje x y el eje y de los sensores, el acondicionamiento de la señal es la parte más importante y crucial de la exactitud de la brújula electrónica. Considerando un campo de fuerza mínimo de la Tierra en el plano del sensor de aproximadamente 15 A/m y una sensibilidad del sensor típica de 80mV, un sensor MR desarrollará una amplitud de aproximadamente 1.2mV cuando se rote en ese campo. Por lo tanto una aplicación significativa es requerida para que se pueda proveer un voltaje razonable para la etapa de determinación de dirección siguiente. La figura mostrada a continuación muestra un diagrama a bloques para una UAS usando un microcontrolador . La circuitería necesaria para la brújula desde el aspecto analógico será usando la bobina invertida, la preamplificación y la opción de las bobinas de

compensación. Las señales del sensor invertidas son mandadas vía un convertidor analógico/digital, la resolución de esta conversión debe ser más alta que la exactitud de la brújula al final. Para una brújula ordinaria o de bajo rango donde la exactitud no es crítica, el convertidor analógico/digital puede ser de 8 bits el cual resultaría eficiente, pero se requiere un convertidor A/D con una resolución mas alta como solución.

En otro caso la compensación de variación puede ser implementada por software sin embargo basándose en el esquema fundamental del sistema integrado empotrado esto resultaría en un algoritmo de mando de compensación no ortogonal que utilizaría importante cantidad de memoria al momento del procesamiento directo.

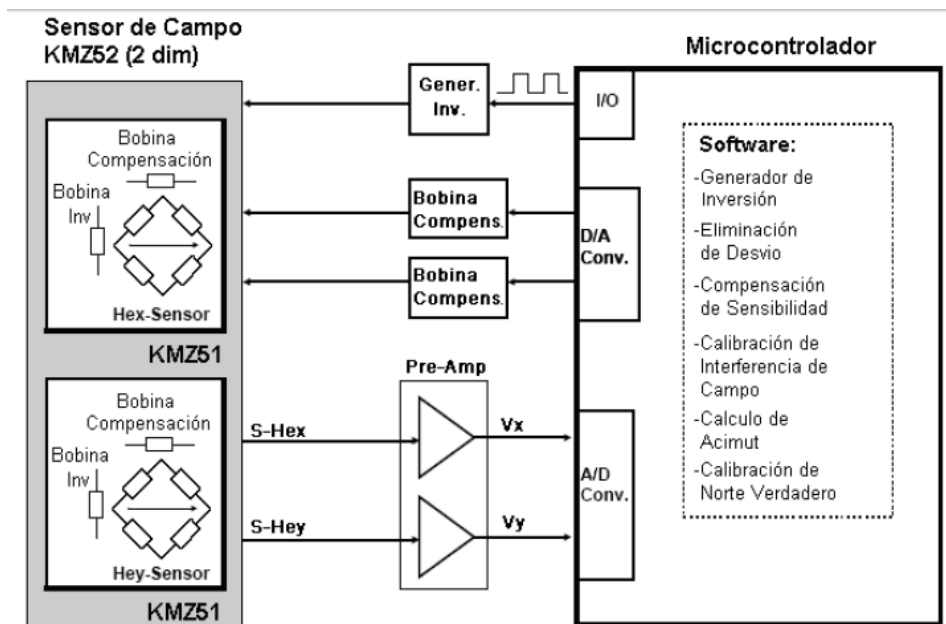


Imagen 2.25. Señal acondicionada a un microcontrolador

Una brújula que requiere tener una alta exactitud se usa por ejemplo en los sistemas de navegación. Si la dirección de información se requiere alta, por ejemplo un grado, se tendría que utilizar un microcontrolador para que evalúe ésta ecuación:

$$\bar{\alpha} = \arctan \left( \frac{Hey}{Hex} \right) \quad (3)$$

Donde Hex y Hey tiene que ser remplazado por los voltajes de salida de  $V_x$  y  $V_y$  al UAS. Al utilizarse la ecuación anterior se debe considerar el argumento  $V_y/V_x$  tiene un polo en  $V_x=0$ , y que la

función del *arctan* se define singularmente sólo en el rango angular de  $-\pi/2$  a  $+\pi/2$ . Así, el acimut tiene que ser computado, dependiendo de los estados reales de  $V_x$  y  $V_y$ .

$$\alpha(V_x = 0, V_y > 0) = 270^\circ \quad (4)$$

$$\alpha(V_x = 0, V_y < 0) = 90^\circ \quad (5)$$

$$\alpha(V_x > 0, V_y > 0) = 360^\circ - \left(\arctan \frac{V_y}{V_x}\right) \cdot \frac{180^\circ}{\pi} \quad (6)$$

$$\alpha(V_x > 0, V_y < 0) = -\left(\arctan \frac{V_y}{V_x}\right) \cdot \frac{180^\circ}{\pi} \quad (7)$$

$$\alpha(V_x < 0) = 180^\circ - \left(\arctan \frac{V_y}{V_x}\right) \cdot \frac{180^\circ}{\pi} \quad (8)$$

Estas ecuaciones se basan en la convención que el acimut se cuenta en el sentido de las agujas del reloj, donde el Norte es  $0^\circ$ . Una vez que el acimut es medido con la brújula, tiene que indicarse la posición frontal en la que se encuentra uno en relación al Norte magnético, sin embargo en la mayoría de los casos prácticos, la dirección frontal relativa con el Norte verdadero es requerida para permitir la navegación por medio de un mapa. Como se sabe no coinciden los polos magnéticos y geográficos de la Tierra, la dirección del norte verdadero y del norte magnético puede desviarse significativamente uno de otro. Esta desviación se define como declinación. La declinación se define como el ángulo del norte verdadero respecto al norte magnético. La declinación también varía por largos periodos de tiempo, por lo tanto, solamente los datos actualizados de la declinación se deben utilizar para la compensación. Para compensar el norte verdadero, el ángulo de la declinación en la localización actual tiene que ser sumado o restado de la lectura del acimut obtenido por la brújula. La operación apropiada depende de la declinación si ésta se encuentra al Este u Oeste. Una manera práctica para la compensación de la declinación en una cierta área o localización sería llevar a cabo una brújula en la dirección del norte verdadero, en otras palabras, que señalara exactamente al norte geográfico. [47]

## 2.7. Botón rotatorio

El sistema de rotor o botón rotatorio servirá al usuario como un seleccionador de imágenes, el botón funcionará sólo con giros, así el usuario girará a su voluntad este rotor el cual dependiendo

de la posición en la que esté mostrará la imagen correspondiente. Dentro de las posibles opciones para determinar el tipo de botón rotatorio está la opción del encoder sin embargo se tendría que armar toda una interfaz programando algún microcontrolador que reciba datos análogos del encoder convirtiéndolos a digital; aunque también como se mencionó en su momento, se puede considerar el uso de potenciómetros debido a que éste emitiría una entrada analógica que luego se convertirá a digital, mientras que el encoder posee dos entradas digitales sin embargo da una señal más precisa; como el sistema propuesto es parecido a los telescopios panorámicos existentes hoy en día, significa que éste será un artefacto de giro continuo por tanto se descarta al potenciómetro debido al desgaste y a otras características ya vistas. Considerando costos es mucho más barato usar un pot a un encoder sin considerar el armado de la interfaz para ambas opciones; y si se habla de abaratar costos se puede usar algún encoder usado, comúnmente los ratones de computadora e impresoras antiguas contienen algún tipo de encoder por lo que sería más factible desbaratar alguno de ellos y más aún, si se está considerando también la interfaz entonces queda una única posibilidad que es la de desarmar y adaptar un mouse antiguo los cuales vienen con una interfaz serial o USB que resulta excelente para el sistema. [69]

El encoder o codificador rotatorio es un dispositivo electromecánico usado para convertir la posición angular de un eje a un código digital, aparte de usarse en los mouse de bola y de trackball se utilizan en la robótica y en algunos lentes fotográficos.

Este mecanismo se usa en aplicaciones industriales pero en el campo de la computación fue muy usado por los mouse durante los 80 y 90 como copartícipe del fenómeno del surgimiento de la interfaz gráfica de usuario. [70]



Imagen 2.26. Un encoder dentro del mouse. Como se puede observar existe un diodo receptor y un infrarrojo transmisor emitiendo constantemente y que será interrumpido cada vez que gire el engranaje dentado (movido por la bola del mouse) por lo cual se emitirá un pulso que será enviado a la PC. [71]

De esta forma se concluye que la opción más apta para el proyecto es la utilización de la estructura del mouse de bola utilizando solamente la parte del tercer botón también llamado *scroll* el cual se verá más adelante.

## **2.8. Monedero electrónico**

El instrumento receptor de monedas se le conoce técnicamente como monedero electrónico, sin embargo comúnmente e incluso las empresas manufactureras relacionadas le denominan *coin selector*. Este aparato está compuesto por un conjunto de dispositivos que discriminan el paso de monedas y en algunos casos regresan el cambio en valor monetario, estos últimos son demasiado costosos y por tanto inviables para el presente proyecto.

Una de las opciones que se tuvo al comienzo de seleccionar algún aparato que cuente monedas fueron las alcancías electrónicas ya elaboradas por las empresas de accesorios y refacciones de máquinas de videojuegos como la que se muestra en la imagen siguiente; cabe mencionar que esta caja tiene como puerto de salida conectores para consolas como X-Box, las cuales son muy solicitadas por los cibercafés.



Imagen 2.27. Alcancía electrónica [77]

Estos aparatos son elaborados de manera casi personalizada con muy pocas posibilidades de generarlos en serie dificultando bajar su costo, la pieza que se observa en la imagen anterior tiene un costo aproximado de \$1,500 M.N. al menudeo; disminuyendo un poco su precio al adquirirse en grandes cantidades. [77]

La desventaja de estos artefactos ya ensamblados es adaptarse a los puertos de salida, muchos de estos son puertos relacionados a consolas de videojuegos con patentes registradas lo que dificulta el armado de la interfaz para comunicarlo con el sistema.

Una máquina de videojuegos común y corriente como la que se muestra a continuación, contiene un sistema electrónico totalmente equipado con una CPU adjuntada con una tarjeta madre exclusiva para máquinas de este tipo (GOAL3) con discos duros incluso de hasta 80GB todo ello de-

ntro de un gabinete especial ventilado y con una fuente de poder regulada y precargada incluso con casi 10,000 videojuegos (ver siguiente imagen).



Imagen 2.28. A) CPU integrado con ventilador acondicionado para un funcionamiento continuo, B) Juegos de arcadia [78]

La industria de los videojuegos está demasiado emparentada con los monederos electrónicos y ésta a su vez con la industria del hardware de PCs comunes, aunque con algunas diferencias, como el hecho de estar fabricadas con enormes sistemas de ventilación y adaptación estratégica del gabinete contenedor de la tarjeta madre con la finalidad de disipar correctamente el calor generado y funcionando de forma ininterrumpida.

Consumando uno de los objetivos del presente trabajo es conveniente utilizar un tragamonedas y conectarlo de manera propia considerando sólo aquellos aspectos que se requieren para el proyecto, por ende se adquirió un monedero tragamonedas como el siguiente:



Imagen 2.29. Monedero electrónico [79]

Este tragamonedas es metálico y tiene un costo de \$100 M.N., y difiere de otros que pueden ser encontrados en el mercado los cuales son artefactos más complejos y hasta con puertos USB que incluso dan cambio en valor monetario y aceptan billetes y necesitan de hasta 24V para funcionar. (Ver siguiente imagen). Este tipo de aparatos son verdaderos mini-sistemas empotrados ade-

cuados para funcionar con sistemas operativos como Windows XP, aparte contienen kits de software y drivers que facilita la integración de sistemas de cobro en aplicaciones desarrolladas por diferentes lenguajes de programación, los más utilizados en la industria son Visual Basic, .NET, C ++ entre otros. Por lo general este tipo de máquinas vienen preparadas para ser adaptadas en máquinas *vending* (dispensadores de golosinas, de café, etc.) a través de unas tarjetas electrónicas adjuntas en éstas últimas, el costo de estos artilugios llegan a ser de \$895USD,[80] dejando de lado la remota la posibilidad de adquirirlo para el proyecto.

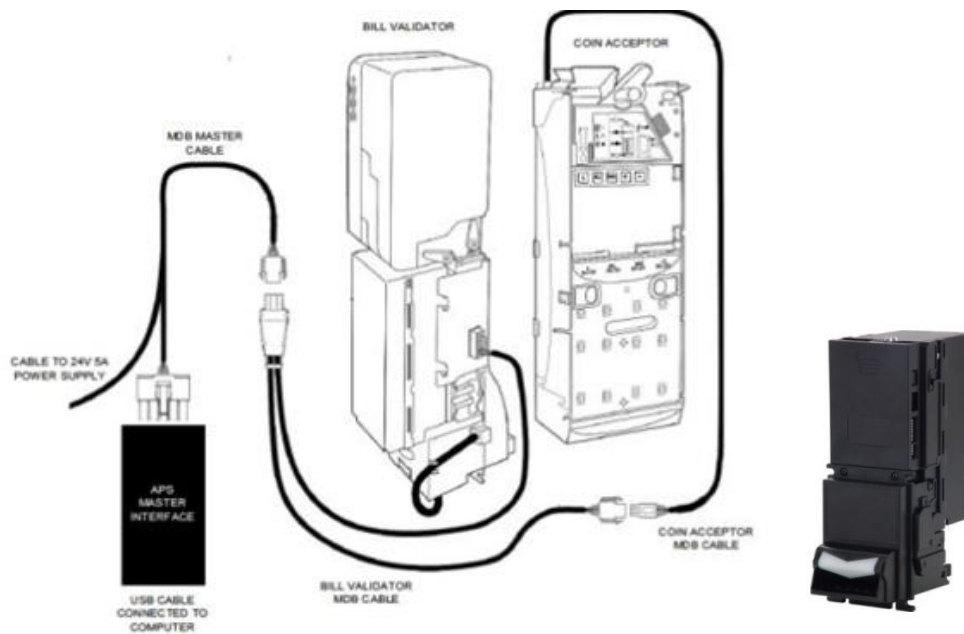


Imagen 2.30. Diagrama e imagen del monedero receptor de billetes [80].

## 2.9. Software

El software para el sistema en general comprende la utilización del sistema operativo completamente modificado para ser usado de forma continua como normalmente se acostumbra en los kioscos informativos y cajeros automáticos. Por otra parte también se explica a fondo la implementación del software detallando la forma en que interactúa con el sistema operativo. En breve se describirán todos los elementos mencionados profundizando cada uno de ellos.

## **2.10. Sistema operativo**

El uso del sistema operativo Linux en un sistema embebido ha tenido un uso extendido, como por ejemplo en PDA's, teléfonos móviles, robots, enrutadores/servidores, dispositivos electrónicos y aplicaciones industriales con microcontroladores y microprocesadores.

En el pasado, el desarrollo de empotrados fue llevado a cabo en su mayoría utilizando código propietario escrito en lenguaje ensamblador. Los desarrolladores debían escribir los controladores para los dispositivos de hardware y las interfaces desde cero.

El kernel de Linux, combinado con un conjunto de algunas otras utilidades de software libre, puede ajustarse dentro del limitado espacio de hardware de los sistemas embebidos. Una instalación típica de un Linux empotrado ocupa en promedio 2 MB.

Existen otros sistemas operativos empotrados como el QNX, LynxOS, Windows CE, Windows NT Embedded, Palm OS.

Linux Empotrado tiene algunas ventajas en relación a otros sistemas operativos empotrados, como pueden ser el Código abierto pequeño (Windows CE ocupa 21 MB comparado con los 2 MB para Linux Empotrado), puede no tener costos por derechos, además es maduro, estable (Más de 10 años de edad y utilizado en muchos dispositivos) y con respaldo. [88]

Existe por otra parte, la familia de sistemas operativos empotrados Windows y se divide en: Windows CE, dotNET, Windows XP Embedded, así como de Windows 2000 Server Appliance Kit, Windows NT Embedded y Windows CE 3.0

Windows XP Embedded es la versión de componentes del sistema operativo Windows XP que permite seleccionar exactamente aquellos componentes que más se adecuan a los requisitos concretos de cualquier diseño, con lo que se reduce considerablemente el espacio en disco destinado específicamente al diseño.

Permite un desarrollo rápido y fiable para los dispositivos. Basado en las mismas fuentes que Windows XP Professional, Windows XP Embedded, además de las ventajas de un modelo de programación familiar ya conocido y un conjunto de poderosas herramientas muy utilizadas comúnmente en la industria que permite a los desarrolladores seleccionar individualmente entre 10.000 componentes característicos basados en XP Professional para lograr una funcionalidad óptima.

Este sistema operativo está construido sobre partes de código del sistema Windows 2000, por ello proporciona un entorno fiable y seguro para ofrecer un soporte eficiente a funcionalidades multi-

media, navegación Web y soporte para dispositivos. Por otra parte, junto con el sistema operativo se distribuye una utilidad de diseño completa, denominada Windows Embedded Studio, que permite a los desarrolladores configurar, construir e implementar diseños para este tipo de dispositivos.

El sistema permite realizar copias de seguridad de los drivers para poder volver a la anterior configuración si cualquier componente falla, posee una arquitectura multiproceso que permite ejecutar varias aplicaciones simultáneamente e incorpora el nuevo sistema de archivos encriptado (EFS). Para la interconexión con elementos externos posee soporte USB, así como Internet Explorer 6 para la navegación web. Entre sus funcionalidades de red Windows XP Embedded proporciona un soporte para Remote Desktop Protocol (RDP), capacidad de conexión por infrarrojos, tecnologías de red 802.11, 802.1x, y Universal Plug and Play. El sistema es capaz de actuar como cliente de active directory. [87] Este sistema operativo suena fácil de instalar y configurar sin embargo el uso de la licencia por cada una de estas aplicaciones ronda los 90 dólares por unidad, es decir, si estuviésemos interesados en reproducir 40 veces el proyecto se pagarían 40 licencias por cada implementación individual optando totalmente por Linux.

### ***2.11. Lenguajes de programación***

La programación de aplicaciones para sistemas empotrados difiere en algunos aspectos a la programación de aplicaciones típicas de escritorio y es importante tomar en cuenta los varios puntos como el tipo de plataforma; respecto a éste, se puede mencionar que la plataforma de trabajo normalmente difiere bastante de una computadora tradicional siendo sistemas que normalmente tienen unas características bastante reducidas en comparación de las PC's normales, algunas de ellas tienen núcleos de microcontroladores de 8 o 16 bits, velocidad de pocos MHz y varios KB de memoria, sin embargo éstas limitaciones corresponden a motivos bien definidos que otorgan beneficios como menor consumo, menor tamaño y coste de fabricación, todos esos elementos son considerados al momento de crear alguna aplicación.

En definitiva, son sistemas que se diseñan pensando en una aplicación concreta y por ello se puede realizar su desarrollo de una manera tan ajustada mientras que una computadora normal debe ser capaz de ejecutar una gran cantidad de aplicaciones de distinta naturaleza por lo que gozan de un dimensionamiento mayor.

Respecto al uso e interface, este es el aspecto en el que más se diferencian de las computadoras de escritorio. Las aplicaciones pueden ser desde un simple mando a distancia de un garaje hasta

un cajero automático, pasando por reproductores mp3, teléfonos móviles o microcomputadoras a bordo del auto; de esto viene a que; mientras una computadora común y corriente usa ratón y monitor, estos sistemas tienen una interface mucho más específica a la aplicación desarrollada. Debido a eso la interface tiene que ser bastante intuitiva para que conociendo la propia aplicación se descubra fácilmente su manejo.

En algunos aspectos el desarrollo de los sistemas empotrados requiere de un mayor esfuerzo respecto a la programación de escritorio a la vez que queda simplificado. En la mayoría de los casos el desarrollo comprende tanto la parte de hardware como el software ya que cada desarrollo es muy específico al producto y su aplicación. Incluso es necesario llevar el desarrollo paralelo de los dos aspectos, ya que una decisión de hardware puede afectar al software y viceversa. Por lo que el modelo de vida más empleado e incluso recomendado es el de prototipo evolutivo.

Después de seleccionar el hardware y tener un diseño inicial de su arquitectura se puede entonces comenzar con el software, aunque muchas veces todavía se tendrá que modificar en varias ocasiones el diseño inicial del hardware hasta obtener un diseño final.

Las partes de análisis y diseño no tienen mayor diferencia respecto a otros tipos de desarrollo, las principales diferencias se encuentran en la programación y la forma de pensar en ella.

En primer lugar, los lenguajes de programación a pesar de que cada día van surgiendo lenguajes nuevos y más cómodos, el mundo sigue siendo dominado por C y ensamblador aunque empieza a sonar bastante bien C++ y Java. La razón del dominio de estos lenguajes, que ya cuentan con muchos años de haberse creado es la potencia que ofrecen. Debido a que las características del hardware son reducidas, se busca aumentar las posibilidades por medio del software “exprimiendo hasta la última gota”.

Como segundo punto, está la forma de pensar; la programación en estos casos es mucho más próxima al hardware, por lo que uno de los requisitos fundamentales es conocerlo adecuadamente, aunque no es necesario conocer grandes librerías o frameworks de alto nivel que suelen ser más útiles en la programación de escritorio o para servidores. Ambos lenguajes son considerados dentro de la programación orientada a objetos la cual es una técnica de programación, es un paradigma de escritura correcta de programas, esto es que significa un lenguaje que ofrece mecanismos que soportan adecuadamente el estilo de programación ofreciendo utilidades que lo hacen razonablemente fácil, seguro y eficiente. El apoyo de un paradigma no solo viene en la forma evidente de utilidades del lenguaje que permiten el uso directo del paradigma, sino también

en la forma más sutil de verificaciones en tiempo de compilación y/o ejecución de desviaciones no intencionadas del paradigma. La verificación de tipos es el ejemplo más evidente de esto; la detección de la ambigüedad y las verificaciones en tiempo de ejecución también se utilizan para extender el apoyo lingüístico del paradigma. Las utilidades extralingüísticas, como las bibliotecas y los entornos de programación pueden ofrecer más apoyo a los paradigmas. [105] Un lenguaje no es necesariamente mejor que otro porque posea una característica que el otro no tiene. El aspecto importante no es tanto qué característica posee un lenguaje, sino que las características que posea sean suficientes para soportar los estilos de programación deseados para las áreas de aplicación que se necesite.

Reafirmando lo anterior cabe hacer énfasis que en este tipo de programación cada ciclo de reloj y byte cuenta, por ejemplo; si se tiene un programa que ocupa 32778 bytes y se posee 32768 bytes se tendrá que hacer un esfuerzo por ahorrar esos 10 bytes de sobra si se cuenta con algún algoritmo que dura 105  $\mu$ s y debe durar 100  $\mu$ s entonces se tendrá que quitar de en medio algunas instrucciones inútiles para ganar esos 5  $\mu$ s necesarios, de lo contrario el proyecto podría producir resultados inesperados.

Referente al futuro de las interfaces ha existido una notable evolución, cada vez es más normal encontrar dispositivos manejados por una pantalla gráfica y táctil lo que también modifica la forma de pensar de cara al desarrollo, incluyendo por ejemplo hasta sistemas operativos completos como Windows y Linux lo cual también permite obtener unas interfaces más amigables, tiempos de respuesta menores, mayor capacidad de cálculo, etc. [83]

Para el diseño de aplicaciones empotradas o embebidas existen diversos lenguajes de programación sin embargo C es el lenguaje más común, el código ligero que un compilador C genera combinado con la capacidad de acceso a capas del software cercanas al hardware son responsables de su popularidad en este tipo de aplicaciones. Una característica donde C demuestra comodidad de uso particularmente valiosa en sistemas embebidos es la manipulación de bits. Los sistemas contienen registros mapeados en memoria a través de los cuales los periféricos se configuran. Estos registros mezclan varias configuraciones en la misma dirección de memoria, aunque en bits distintos. Con C es posible modificar fácilmente uno de estos bits sin alterar el resto. Otras características de C consideradas como desventajas en la programación se convierten en ventajas cuando los sistemas embebidos necesitan de código pequeño y optimizado. Ese es el caso de los

sistemas basados en microcontroladores de poca potencia como el Intel 8051 o muchos sistemas ARM. [84]

Desde la creación de la especificación J2ME la cual es una versión del entorno de desarrollo Java reducido y altamente optimizado, especialmente desarrollado para el mercado de dispositivos electrónicos de consumo se ha producido toda una revolución en lo que a extensión de Java se refiere. Es posible encontrar microprocesadores específicamente diseñados para ejecutar bytecode de Java y software Java para tarjetas inteligentes como la JavaCard, aparte también es apto para teléfonos celulares, buscapersonas, set-top-boxes, sintonizadores de TV, DVD entre algunos lectores y otros pequeños electrodomésticos.[85]

## **Capítulo III. Diseño e implementación**

Después de analizar las posibles soluciones al proyecto propuesto considerando las opciones y requerimientos básicos; y ahondando sobre tales conceptos, se procederá a desarrollar el proyecto sin perder de vista sus objetivos fundamentales.

### ***3.1. Diseño e implementación del hardware***

En la parte del hardware se consideran al tragamonedas, botón rotario y al sistema empotrado, en el caso del primero se toman en cuenta los puntos anteriormente analizados y se desarrolla un prototipo adecuado para el sistema, por tanto su construcción y adaptación dependerá de los datos recopilados anteriormente. Por la parte del botón rotario se encontraron variedad de opciones, sin embargo la mayoría de ellas implica la construcción de un encoder, esta técnica puede encontrarse en la arquitectura de hardware de cualquier dispositivo periférico tipo mouse de bola, por lo que se tomará en cuenta este aspecto. Con referencia al sistema empotrado se puede mencionar que tras varios meses de investigación y búsqueda se determinó utilizar el sistema TQ-43 de la empresa E-Way Co., sus especificaciones serán mostradas posteriormente.

### ***3.2. Sistema de orientación***

Una de las primeras tareas que se realizaron en el aspecto del hardware es trabajar con la brújula y su interfaz haciendo pruebas en otras máquinas antes de probarla en el sistema elegido. Como se mencionó anteriormente, la brújula digital CMPS03 es un sensor de campos magnéticos que una vez calibrado ofrece una precisión de 3-4 grados y una resolución de décimas de grado. Tiene dos interfaces, mediante pulsos temporizados (modulación en anchura), o bien por medio de un bus I2C, lo que facilita su comunicación con una amplia gama de microcontroladores, incluyendo los Basic Stamp, Basic X, OOPIC y otros lenguajes compilados. Este sensor magnético está específicamente diseñado como sistema de navegación para robots. La brújula está basada en los sensores KMZ51 de Philips que son lo suficientemente sensibles como para captar el campo magnético de la tierra. Usando dos de estos sensores colocados en ángulo de 90 grados, permite

al microprocesador calcular la dirección de la componente horizontal del campo magnético natural.

En la siguiente imagen se puede observar las conexiones de los diferentes pines del CMPS03, entre los que destaca la patilla 4 y la 2 - 3, que corresponden a los dos posibles interfaces que incorpora: el PWM (Pulse Width Modulation - Modulación por anchura de pulso) y el bus I2C formado por las señales SDA (señal de datos) y SCL (señal de reloj) y que es un interfaz serie bidireccional síncrono.

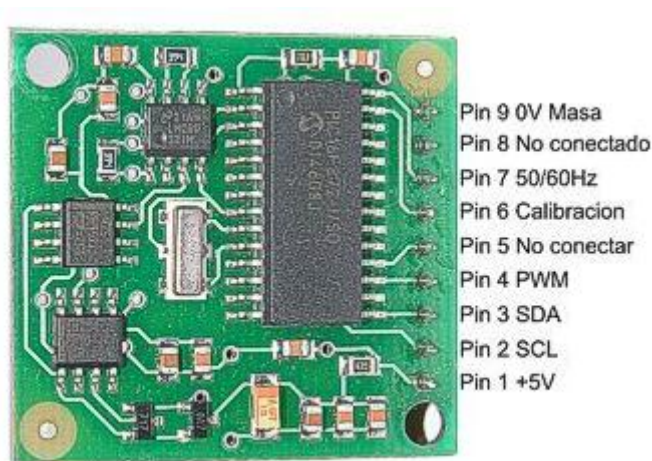


Imagen 3.1. Brújula, vista desde arriba

En la salida 4, se obtiene una señal PWM en la que el pulso positivo representa el ángulo de la brújula. El pulso varía en duración desde 1mS (0°) hasta 36,99mS (359,9°), o dicho de otra forma, el pulso es igual a 100  $\mu$ S por cada grado más 1 ms de pausa. La señal permanece a cero durante 65 ms entre pulsos, por lo que el periodo de trabajo es de 65mS + la anchura del pulso. El pulso es generado por un contador de 16 bits del propio procesador, con una resolución de 1  $\mu$ s, aunque en la práctica no es recomendable hacer mediciones con una resolución de más de 0,1° (10  $\mu$ s). Cuando se usa la interfaz PWM, es necesario conectar a +5V mediante 2 resistencias de 47K $\Omega$ , los pines 2 y 3 (SCL - SDA) del interfaz I2C, ya que no se incluyen resistencias de *pull-up* en el circuito.

La otra posibilidad es la de usar la interfaz I2C como se comentará más adelante. El bus I2C del circuito no incorpora las necesarias resistencias de pull-up, por lo que será necesaria su implementación en el mismo, para ello es recomendable utilizar dos resistencias de 1K $\Omega$  en caso de utilizar el bus a 400 KHz y de 1K $\Omega$  si se utiliza a una frecuencia de 1Mhz. Solo son necesarias 2 resistencias en total para todo el bus, no por cada circuito que esté conectado al mismo. El sensor

de brújula digital está diseñado para ser compatible con la velocidad estándar de reloj de 100Khz, aunque esta pueda aumentarse si tiene en cuenta lo siguiente:

A velocidades superiores a los 160KHz, la CPU no puede responder lo suficientemente rápido como para leer los datos, por lo que hay que incorporar un retardo de 50 $\mu$ s al finalizar la escritura del registro de dirección. Si se hace esto de forma correcta, es posible comunicarse con el módulo a velocidades superiores a 1MHz. Esto solo afecta a programas escritos en lenguajes de alta velocidad y bajo nivel como es el ensamblador, y no afecta a las aplicaciones escritas para los compiladores internos como son el Basic Stamp, el OOPIC o el Basic X o similares. El módulo de sensor de brújula siempre actúa como un esclavo, nunca como un master del bus I2C.

El pin 7 se utiliza para seleccionar entre 50Hz (puesta a cero) o 60Hz (puesta a uno). Esto es debido a una desviación errónea de unos 1,5° causada por el campo generado por la red eléctrica. Sincronizando la conversión con la frecuencia en hercios de la red, se consigue disminuir el error a tan solo 0.2°. El pin sí tiene una resistencia interna de pull up, por lo que si se deja sin conectar, funcionará a 60Hz. El circuito realiza una conversión interna cada 40mS (50Hz) o cada 33,3mS (60Hz) de acuerdo con la conexión de esta entrada. No hay algún tipo de sincronismo entre la realización de la conversión y la salida de los datos, ya que cuando estos son leídos se devuelven el valor más reciente que este almacenado en su respectivo registro.

El pin 6 se usa para calibrar el sensor magnético. Esta entrada tiene su propia resistencia de polarización (pull up) y puede dejarse sin conectar una vez realizada la conversión.

Los pines 5 y 8 están marcados como no conectados, aunque el pin 8 es en realidad el reset del microprocesador, con el fin de poder programarlo una vez soldado al circuito impreso. Esta entrada no tiene resistencia de pull up. [82]

### **Calibración de la brújula**

Consiste en utilizar un push-button o pulsador entre el pin número 6 y tierra del circuito, con el fin de iniciar la calibración, se debe tomar en cuenta que este pin tiene una resistencia de polarización interna y puede dejarse sin conectar una vez realizada la calibración. Para llevar a cabo la calibración basta con poner a tierra el pin número 6 momentáneamente por cada uno de los 4 puntos cardinales, será necesario calibrar los 4 puntos. Ejemplo:

- 1 Apuntando el circuito hacia el Norte. Pulsar momentáneamente el pulsador.
- 2 Apuntando el circuito hacia el Este. Pulsar momentáneamente el pulsador.
- 3 Apuntando el circuito hacia el Oeste. Pulsar momentáneamente el pulsador.

4 Apuntando el circuito hacia el Sur. Pulsar momentáneamente el pulsador.

Con esto queda calibrado el dispositivo, aunque está el otro método I2C, éste método consiste en escribir 255 en el registro 15 del módulo por cada uno de los cuatro puntos cardinales. El valor 255 es borrado internamente cada vez que se completa la calibración. Los puntos de calibración pueden hacerse en cualquier orden, pero siempre es necesario calibrar los 4 puntos. Por ejemplo:

- 1 Apuntar el circuito hacia el Norte. Escribiendo 255 en el registro 15
- 2 Apuntar el circuito hacia el Este. Escribiendo 255 en el registro 15
- 3 Apuntar el circuito hacia el Sur. Escribiendo 255 en el registro 15
- 4 Apuntar el circuito hacia el Oeste. Escribiendo 255 en el registro 15

Para una adecuada comunicación entre el sistema y la brújula es necesario implementar una interfaz I2C-USB como la que se presenta en la imagen:

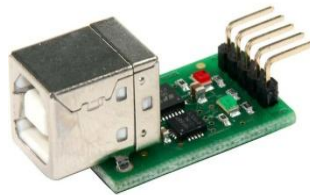


Imagen 3.2. Interfaz USB-I2C

El USB-I2C es un circuito interfaz que convierte señales USB en señales de bus I2C. El circuito se alimenta directamente desde el propio bus USB por lo que es muy cómodo de manejar. Este circuito utiliza el integrado convertidor de USB a Serial de la marca FTDI por lo que hay disponibles controladores tanto para Windows como para Apple y Linux. Una vez instalado el driver el circuito aparece en la computadora como un puerto serie más, por lo que todo lo que hace falta para poder controlar dispositivos I2C es mandar las ordenes directamente al puerto serie y el circuito se encarga de traspasarlas directamente al bus I2C. Gracias a este circuito se pueden controlar desde un PC cualquier dispositivo I2C, incluyendo los sensores de distancia por ultrasonido SRF02, SRF08, SRF10. Si no se utiliza el bus I2C, el circuito actúa como puertos de entrada y salida normales que se controlan desde la PC por USB. En este caso se tiene una línea de entrada y dos puertos más que pueden funcionar como entradas o salidas. Hay disponible un software de

control de ejemplo para Windows que permite controlar los puertos desde la PC. El módulo USB-I2C utiliza el chip USB FTDI FT232R para controlar los protocolos USB.

El siguiente diagrama muestra las conexiones del circuito USB-I2C:



Imagen 3.3. Diagrama de conexión del USB-I2C

Donde el pin 0V o Gnd de la brújula debe estar conectado al 0V Gnd del dispositivo I2C.

El pin Input 1 se ha habilitado para que sea un pin de entrada con una resistencia Pull-Up de 47k $\Omega$  en la PCB.

SCL y SDA: Estos pines son las conexiones del bus I2C y deben conectarse directamente a los pines SCL y SDA de la brújula digital. El módulo USB-I2C es siempre un bus maestro y está ajustado a la resistencia pull-up 4,7 k $\Omega$  en la PCB.

El pin de alimentación es de +5V

El sistema de orientación irá complementado con los otros sistemas estableciendo una comunicación directa con el sistema central para enviar y recibir datos.

### **3.3. Sistema operativo**

Se intentó instalar a través de una USB el sistema operativo sobre el sistema empotrado, el resultado fue que al momento de la instalación se mostró en pantalla un mensaje con la leyenda: “*Kernel panic-not syncing: Attempted to kill the idle task!*”, deduciendo posteriormente que tal leyenda aparece sobretodo en sistemas ya algo antiguos [89], y efectivamente es correcto, debido a que el sistema empotrado tiene una arquitectura 386 la cual fue muy popular en los computadores de los 80s sin embargo ahora se siguen produciendo para crear sistemas empotrados de propósito general. Sin embargo tal forma de arranque no fue la apropiada para este propósito.

Para instalar el sistema operativo en el sistema empotrado TQ-43 fue necesario de acuerdo a algunas lecturas proporcionadas por la empresa tener instalado en alguna otra máquina el sistema

operativo Debian, en cualquiera de sus versiones, según investigaciones anteriores se optó por instalar Debian 4.0 sin embargo después de indagar sobre este tema se encontró que tal sistema operativo estaba ya relegado considerado como una versión old-stable lo cual significa que Debian 5.0 es la versión más estable de Debian hasta el momento.

Otro de los problemas de la versión old-stable es que en la página oficial de Debian ya no existe la opción para descargar, para ello se tuvo que acceder a otros sitios principalmente de universidades donde aún es posible descargar tal versión aunque no se aseguraba la descarga totalmente fiable.

De la página oficial sólo fue posible encontrar parches y algunas actualizaciones de seguridad para la mencionada versión. [90]

Sin embargo existió mucha confusión en este nivel principalmente debido a la falta de información y carencia de fuentes bibliográficas respecto al tema por otro lado el desconocimiento de alguna metodología para instalar software en un sistema empotrado, lo cual es normal debido a que muchas empresas guardan sus técnicas y mecanismos de instalación y ejecución de tareas de sistemas empotrados, este hecho es muy común en el ambiente tecnológico a nivel empresarial lo cual ha sido denominado *secreto industrial*.

Por tal hecho el procedimiento de arranque e instalación se fundamentó en documentos publicados por la empresa fabricante del sistema (E-Wayco) en el cual están publicados una serie de consejos sólo como referencia de ayuda para proyectos los cuales resultaron algo confusos al principio aunque con el paso del tiempo se encontraron algunas otras fuentes sobretodo en diversos sitios de internet de aficionados dando como resultado la exitosa instalación tanto del sistema como de las aplicaciones necesarias para poder accionar el sistema empotrado.

En un principio se optó por un sistema operativo Linux inclinando la balanza a favor de la distribución Debian, considerando el último lanzamiento (Debian 5) sin embargo debido a la arquitectura del hardware fue imposible ya que al instalar y correr por primera vez el sistema desplegaba en pantalla un mensaje de fallo del sistema mencionando la falta de `cmov`, la cual es una instrucción sólo presente en las máquinas con arquitectura 686 en adelante, por tanto se deduce que la distribución fue compilada para arquitecturas con mayor velocidad. [91] Después de tal tarea, se procedió a instalar el sistema operativo de tipo Netinst de la distribución Debian 4 de un tamaño no menor a 150MB lo cual significa que se instaló de forma muy básica dejando como opción a futuro descargar complementos sistema. [92], [93], [94]



Imagen 3.4. Toma de pantalla de la instalación

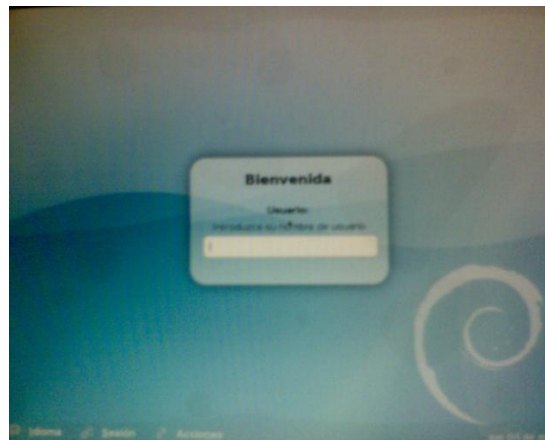


Imagen 3.5. Toma de pantalla del inicio del sistema

Después de instalar exitosamente el sistema operativo que ejecutará las aplicaciones, se procedió a instalar todo tipo de paqueterías adicionales y herramientas necesarias para poder echar a andar el software principal, cabe mencionar que por ser un sistema embebido se deben cumplir ciertos puntos básicos como tal, uno de ellos es la limitación de memoria y velocidad de procesador considerando sólo herramientas básicas y desinstalando todo tipo de aplicaciones que acompañen al sistema operativo que resulten inútiles a nuestro objetivo.

### **3.4. Sistema receptor de monedas**

Para el presente trabajo están considerados conceptos ya mencionados en la breve reseña relacionada al tema, para ello se cuenta con un monedero electrónico el cual conectado a un microcontrolador (o PIC) emitirá pulsos, y éste a su vez tomará la decisión de enviar datos a la computado-

ra respondiendo que el usuario ha introducido ya la moneda para que en ese instante el sistema tome una decisión al respecto.

Este sistema utiliza a modo de interfaz al protocolo RS-232, el puerto serial de las computadoras siendo conocido como puerto RS-232, muchos sistemas empujados siguen usando este puerto que permite las comunicaciones entre otros dispositivos tales como otra computadora, el mouse, la impresora y para nuestro caso con los microcontroladores.

Existen dos formas de intercambiar información binaria: paralela y serial.

La comunicación paralela transmite todos los bits de un dato de manera simultánea, por lo tanto la velocidad de transferencia es rápida, sin embargo tiene la desventaja de utilizar una gran cantidad de líneas, por lo tanto se vuelve más costoso y tiene la desventaja de atenuarse a grandes distancias, por la capacitancia entre conductores así como sus parámetros distribuidos.

Existen dos tipos de comunicaciones seriales: la síncrona y asíncrona

En la comunicación Serial síncrona, se necesitan 2 líneas, una línea sobre la cual se transmitirán los datos y otra la cual contendrá los pulsos de reloj que indicaran cuando un dato es válido.

Ejemplos: de este tipo de comunicación son los protocolos:

- I2C (Inter Integrated Circuit)
- SPI (Serial Peripheral Interface)

En la comunicación serial asíncrona, no son necesarios los pulsos de reloj. La duración de cada bit está determinada por la velocidad con la cual se realiza la transferencia de datos.

Normalmente cuando no se realiza alguna transferencia de datos, la línea del transmisor se encuentra en estado de Idle, esto quiere decir en un estado alto.

Para iniciar la transmisión de datos, el transmisor coloca esta línea en bajo durante un determinado tiempo, a lo cual se le conoce como bit de arranque (Start bit) y a continuación empieza a transmitir en un intervalo de tiempo fijo, los bits correspondientes al dato, empezando siempre por el BIT menos significativo (LSB), y terminando con el BIT más significativo.

Si el receptor no está sincronizado con el transmisor, este desconoce cuándo se van a recibir los datos. Por lo tanto el transmisor y el receptor deberán tener los mismos parámetros de velocidad, paridad, número de bits del dato transmitido y de BIT de parada. En circuitos digitales, cuyas distancias son relativamente cortas, se pueden manejar transmisiones en niveles lógicos TTL (0-5V), pero cuando las distancias aumentan, estas señales tienden a distorsionarse debido al efecto

capacitivo de los conductores y su resistencia eléctrica. El efecto se incrementa a medida que se incrementa la velocidad de la transmisión.

Todo esto origina que los datos recibidos no sean igual a los datos transmitidos, por lo que no se puede permitir la transferencia de datos.

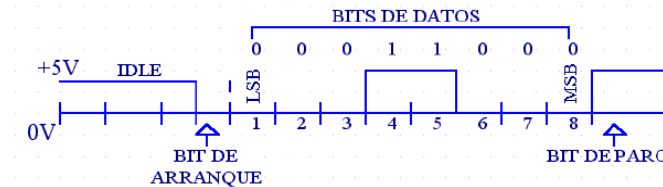


Imagen 3.6. Se muestra la estructura de un carácter que se transmite en forma serial asíncrono

Ante la gran variedad de equipos, sistemas y protocolos que existen surgió la necesidad de un acuerdo que permitiera a los equipos de varios fabricantes comunicarse entre sí. La EIA (Electronics Industry Association) elaboró la norma RS-232, la cual define la interface mecánica, los pines, las señales y los protocolos que debe cumplir la comunicación serial

Todas las normas RS-232 cumplen con los siguientes niveles de voltaje:

- Un "1" lógico es un voltaje comprendido entre  $-5v$  y  $-15v$  en el transmisor y entre  $-3v$  y  $-25v$  en el receptor.
- Un "0" lógico es un voltaje comprendido entre  $+5v$  y  $+15 v$  en el trasmisor y entre  $+3v$  y  $+25 v$  en el receptor.

El envío de niveles lógicos (bits) a través de cables o líneas de transmisión necesita la conversión a voltajes apropiados. En los microcontroladores para representar un '0 lógico' se trabaja con voltajes inferiores a 0.8V y para un '1 lógico' con voltajes mayores a 2V. En general cuando se trabaja con familias TTL y CMOS se asume que un "0" lógico es igual a cero Volts y un "1" lógico es igual a 5 Volts.

La importancia de conocer esta norma, radica en los niveles de voltaje que maneja el puerto serial del ordenador, ya que son diferentes a los que utilizan los microcontroladores y los demás circuitos integrados. Por lo tanto se necesita de una interfaz que haga posible la conversión de niveles de voltaje a los estándares manejados por los CI TTL. La tecnología TTL ha ido progresando al punto de añadir varias mejoras que han hecho que esta familia lógica se usara ampliamente en el diseño de sistemas digitales por lo que no existe algún problema para implementarlo. [109]

Siempre que se necesita comunicar un microcontrolador con una PC se utiliza como opción viable un convertidor TTL sin el circuito MAX232 el cual puede funcionar pero tiene también sus desventajas.

Este circuito soluciona los problemas de niveles de voltaje cuando se requiere enviar unas señales digitales sobre una línea RS-232. Este chip se utiliza en aquellas aplicaciones donde no se dispone de fuentes dobles de +12 y -12 Volts. El MAX 232 necesita solamente una fuente de +5V para su operación, internamente tiene un elevador de voltaje que convierte el voltaje de +5V al de doble polaridad de +12V y -12V. Cabe mencionar que existen una gran variedad de circuitos integrados (CI) que cumplen con la norma RS-232 como lo son: MAX220, DS14C232, MAX233, LT1180A. Sin embargo por el precio y su facilidad de obtención, se puede utilizar el CI MAX 232 de la marca MAXIN. [95]

Al transmitir un dato de la PC al microcontrolador (o a cualquier otro circuito TTL) se emplea un transistor NPN que actúa como un simple interruptor, invierte los pulsos y a la salida se tiene un nivel TTL de 5 y 0 volts para 1 y 0 lógico, en este punto está la ventaja.

La desventaja está en la parte del circuito que convierte la señal RS232 a TTL. En RS232 un 1 lógico equivale a -12V y un 0 lógico equivale a +12V. Como solo se tiene un voltaje de +5V en la alimentación, este voltaje se utiliza como nivel positivo (el cero lógico estará representado por +5V) y el voltaje negativo se toma del pin Tx del transmisor de la computadora. El problema está en que en el transmisor el voltaje será negativo solo cuando este no transmita ningún dato y sólo cuando esté en reposo. En cuanto se transmita un dato el nivel del transmisor comenzará a oscilar entre un voltaje negativo y uno positivo, de modo que si se intenta enviar un dato del microcontrolador a la computadora la transmisión fallará porque no se tendrá el voltaje negativo. [96]

Por tanto el siguiente circuito solucionaría el siguiente problema:

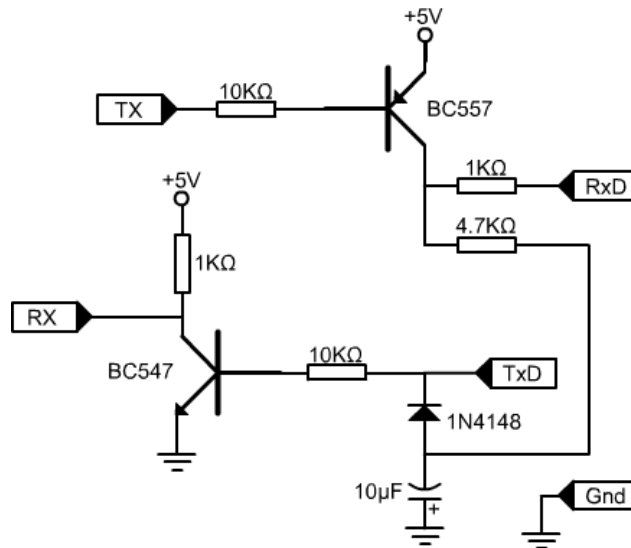


Imagen 3.7. Diagrama propuesto para reemplazar al circuito MAX232. [97]

De acuerdo con el circuito mostrado, el voltaje negativo también se toma del transmisor de la computadora pero este crea una fuente negativa de voltaje usando un capacitor y un diodo conectados de tal forma que el capacitor se carga únicamente con voltaje negativo. Es una forma bastante simple de resolver el problema. Respecto a los niveles de voltaje (de +5 y -12V) que se obtengan al convertir de TTL a RS232 hay que recordar que el estándar RS232 define niveles de -3 a -25V para un 1 lógico y +3 y +25V para un 0, así que los niveles obtenidos mediante este convertidor entran perfectamente en este rango.

La opción mencionada suena viable, aunque sin duda se empleó el CI MAX232 por obvias razones que serán comentadas posteriormente. Por fin, se procedió a programar el PIC e interconectar estos elementos junto con un relevador para conformar en conjunto el sistema receptor de monedas.

Usando el PIC16F877A de Microchip el cual pertenece a una gran familia de microcontroladores de 8 bits (bus de datos), todas sus características se conjugan para lograr un dispositivo altamente eficiente en el uso de la memoria de datos y programa y por lo tanto en la velocidad de ejecución. Una particularidad por la que se seleccionó este microcontrolador es su capacidad de memoria incluida de tipo Flash, precisando de hacerlo funcionar con un cristal externo, como se observa en el diagrama siguiente:

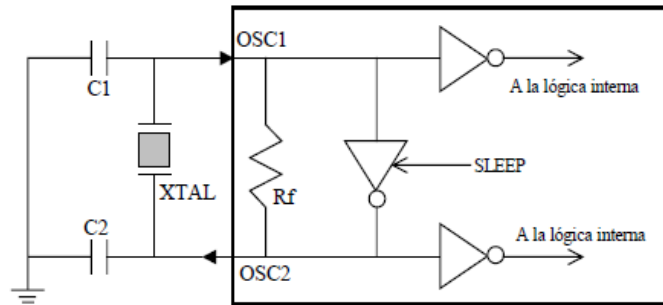


Imagen 3.8. Cristal externo del PIC

Esto es necesario debido a que todas las instrucciones se ejecutan bajo un ciclo de reloj con una frecuencia de operación de 4Mhz, el oscilador de cristal es realmente útil en este proyecto ya que es imprescindible contar con precisión y estabilidad de la frecuencia de oscilación, el cristal (XTAL) se comporta como una bobina grande en serie con un condensador pequeño, por tanto la frecuencia de resonancia prácticamente no se ve afectada por capacidades parásitas. Como se busca contar con una frecuencia precisa y estable la opción obvia es el mencionado oscilador de cristal que cuando se les aplica una tensión alterna, vibran a la frecuencia de la tensión aplicada; inversamente, si es forzado mecánicamente para que vibre, genera una tensión alterna de la misma frecuencia, las principales sustancias que producen el efecto piezoeléctrico son el cuarzo, las sales de Rochelle y la turmalina. [121]



Imagen 3.9. Cristal de cuarzo

El circuito MAX232 tiene compatibilidad con el PIC ya que este último posee pines de tipo USART capaces de enviar y recibir datos a la PC por el puerto serie universal. El PIC posee una CPU la cual es responsable de la interpretación y ejecución de la información (instrucciones) guardada en la memoria de programa. Muchas de estas instrucciones operan sobre la memoria de datos. Para operar sobre la memoria de datos además, si se van a realizar operaciones lógicas o aritméticas, requieren usar la Unidad de Lógica y Aritmética (ALU). La ALU controla los bits de

estado (Registro STATUS), los bits de este registro se alteran dependiendo del resultado de algunas instrucciones. [98]

En el caso particular del sistema de tragamonedas aparte de incluir al PIC, también se necesita de un relé para evitar pasar corriente al tragamonedas en caso que el usuario haya introducido ya la moneda. La construcción del sistema ya mencionado se muestra en la siguiente imagen:

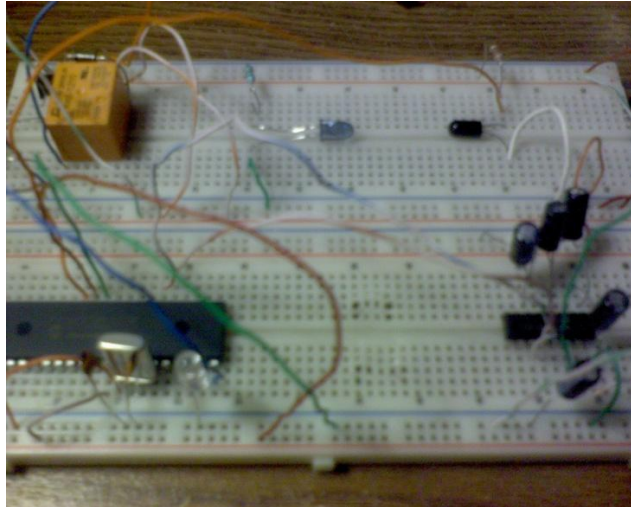


Imagen 3.10. Sistema de tragamonedas

El siguiente paso es soldar adecuadamente todos estos elementos para luego conectarlo con el sistema principal.

### **3.5. Interconexión de sistemas**

Respecto a este paso existen muchas modalidades de transformar el puerto serial necesario para comunicar a la brújula y su interfaz con el sistema, una de las opciones que se consideró fue la de adaptar un puerto serial virtual “com” como se hizo previamente en Windows pero ahora sobre la plataforma Linux está la opción de usar “Wine” el cual es un acrónimo recursivo que significa “Wine is not an Emulator”, es una aplicación que permite ejecutar software diseñado para Windows en otros sistemas operativos, con *Wine* se pueden instalar y correr esas aplicaciones tal y como serían en Windows[123], es también catalogado como software libre y aproximadamente la mitad del código fuente está escrito por voluntarios y todavía está en pleno desarrollo sin embargo es considerado como una aplicación estable por lo cual fue una opción para el presente proyecto. Profundizando un poco más en este aspecto existió la posibilidad de utilizarlo para ejecutar desde éste la aplicación principal mapeando la ruta del puerto serial virtual /dev/ttyUSB0 a com1,

es decir, al ejecutar *Wine* se llama a la aplicación con extensión .jar y en él está su carpeta con sus contenidos incluyendo los archivos que contienen las bibliotecas del virtual com, después de esto se tiene la opción de hacer lo siguiente:

```
“ln -s /dev/ttyUSB0 ~/.wine/dosdevices/com1”
```

De esa forma se hace un link entre ambos puertos (del sistema y de wine) para comunicar con la interfaz del usb-i2c. [102]

Como opción final se determinó configurar algunos puntos del kernel para identificar adecuadamente a todos los dispositivos, la serie de comandos y secuencias ejecutadas se muestran en el Manual pero cabe mencionar que la mayoría de los ajustes se relacionan con Java y con el sistema operativo.

### **3.6. Diseño e implementación del software**

El software está desarrollado en base a las restricciones provistas por el hardware considerando las limitaciones del lenguaje de programación que sea seleccionado. Para empezar a programar se tomaron en cuenta todos los dispositivos ya configurados como la brújula, el botón rotatorio y el tragamonedas, el sistema operativo instalado en el TQ-43 también fueron considerados al momento de elegir al lenguaje, entre miles de lenguajes se opta por C y Java, el primero contiene estructuras de programación capaz de comunicarse de forma excelente con dispositivos mientras que Java ofrece la portabilidad necesaria para este tipo de aplicaciones, antes que nada, se procedió con el desarrollo del módulo de programación encaminado a comunicar a la brújula a través de su interfaz I2C-USB con el sistema principal, en este punto se valora la condición que tiene el dispositivo I2C (mencionado en la sección de Hardware), ya que éste es el responsable de establecer un vínculo mutuo (transmisión y recepción de datos) entre el sistema y la brújula.

Como se ya mencionó, para comunicarse con la brújula es posible usar la interfaz I2C formado por los pines 2 y 3, que nos permite una lectura directa del valor en grados de la dirección. El protocolo de comunicación I2C empleado en el modulo, es el mismo que se emplea con la populares EEPROM como la 24C04. Primero se envía un bit de comienzo, la dirección del modulo (0XC0) con el bit de lectura a cero, y a continuación el numero del registro que se desea leer. Después se vuelve a mandar el bit de comienzo y la dirección del modulo con el bit de lectura a

uno (0XC1). Ahora se puede leer uno, o los dos bytes correspondientes a los registros de 8 y 16 bits respectivamente. (El byte de mayor peso se lee primero en los registros de 16 bits).

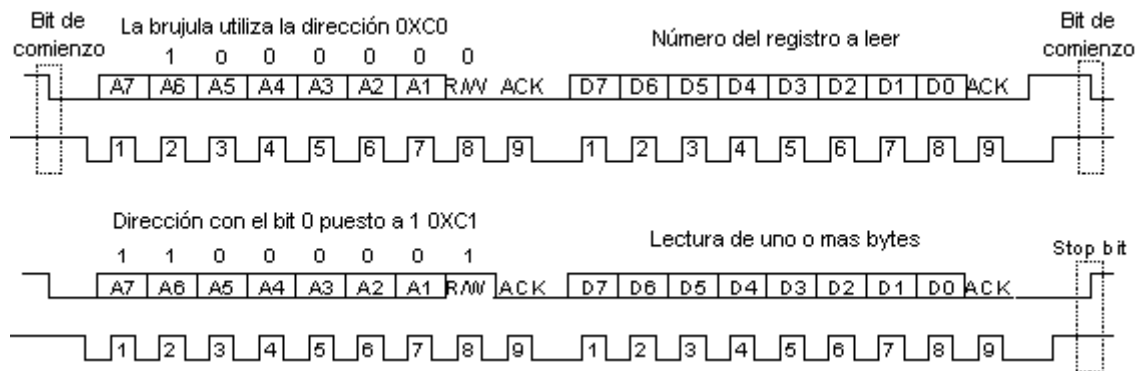


Imagen 3.11. Diagrama de bits de registro

La brújula tiene un total de 16 bytes de registros, algunos de los cuales forman registros de 2 bytes tal y como puede verse en la siguiente tabla:

Registro	Función
0	Numero de Revisión del Software
1	Dirección. en 1 byte 0-255 para 0 - 360°
2,3	Dirección. en 2 bytes 0-3599 para 0 - 359,9°
4,5	Test interno señal diferencial sensor 1
6,7	Test interno señal diferencial sensor 2
8,9	Test interno, valor de calibración 1
10,11	Test interno, valor de calibración 2
12	Sin usar, devuelve 0
13	Sin usar, devuelve 0
14	Sin usar, devuelve 0
15	Comando de calibración, escribir 255 para calibrar

Tabla 3.1. Registros del CMPS03

El registro 0 es la Revisión del software que actualmente es el 8. El registro 1 es la dirección en grados convertida en un valor entre 0 y 255 y que puede ser muy útil en ciertas aplicaciones donde resulta complicado utilizar la escala de 0 a 360 grados que requiere dos bytes y que está disponible en los registros 2 y 3 (el 2 es el más significativo) con un valor que va entre 0 y 3599 que equivale a 0 -359,9°. Los registros 4 a 11 son de uso interno y del 12 al 14 no se usan, por lo que no deberán leerse con el fin de no consumir el ancho de banda del bus I2C. El registro 15 se usa para calibrar la brújula tal y como se especifica más adelante.

El módulo USB-I2C utiliza el chip USB FTDI FT232R para controlar los protocolos USB. Lo primero que se debe hacer para conectar el USB-I2C a un puerto USB es descargar los drivers del

puerto virtual COM directamente de la página Web FTDI, estos están disponibles para Windows, Apple, Linux y sistemas Open BSD. Antes de conectar el USB-I2C al sistema deben estar los drivers instalados. En Windows, donde fue la prueba inicial, después de instalar los drivers y conectarlos en el modulo USB-I2C para un puerto USB adicional se necesitó saber que puerto COM se le ha asignado. Para ello solo se tendrá que entrar en "Mi PC" y seleccionar el "Dispositivo Principal" abriendo después el "Puerto COM&LPT" y observará el Puerto COM2, en este caso. Si se desea cambiar el número del puerto solo se debe seleccionar, elegir propiedades, selecciones avanzadas y cambiar al puerto serie que se desee sabiendo que siempre estos deben transmitir a 19200 baudios, 8 bits de datos, no paridad y dos bits de parada. [86]

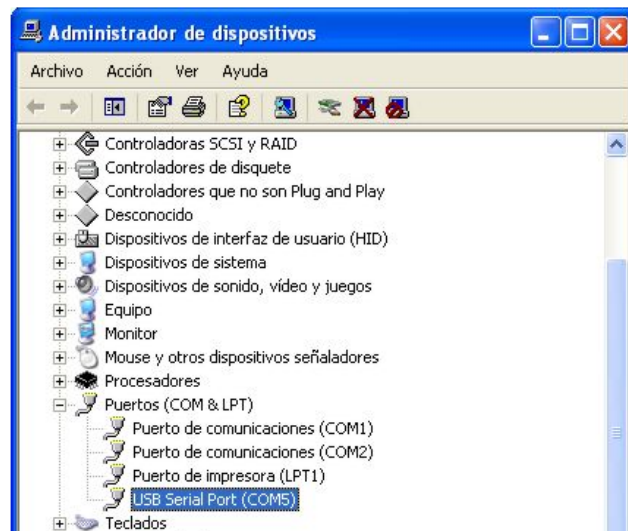


Imagen 3.12. Toma de pantalla donde se observa cómo la PC reconoció el dispositivo

El USB-I2C responde a los comandos que se le envían desde el PC. Hay solo tres comandos primarios:

**I2CD\_CMD (0x53):** Es el que le permite leer o escribir a dispositivos que no tienen registrada una dirección interna como las I/O PCF8574 de la placa de expansión Philips.

**I2C\_CMD (0x55):** Es el que le permite leer o escribir a dispositivos con registros internos como el EEPROM's o nuestra propios módulos.

**USB-I2C\_CMD (0x5A):** Una serie de comandos enviados al módulo generalmente para comunicaciones seleccionadas.

Para realizar tareas de escritura en los dispositivos I2C sin registros de dirección interna, se incluyen dispositivos como el expansor I/O PCF8574 como ejemplo. Después de enviar el comando I2CD\_CMD se puede enviar la dirección del dispositivo y el byte de datos.

	Comando primario USB-I2C	Dirección del dispositivo+ bit R/W	Byte de datos
Tipo de byte	I2CD_CMD	Dirección+R/W	Dato
Ejemplo	0x53	0x40	0x00
Significado	Comando de lectura/escritura directa	PCF8574 dirección I2C	Configuración de todos los byte de nivel lógico bajo

Tabla 3.2. Tabla de comandos para comunicarse con el USB-I2C

Estas secuencias de 3 bytes configura todos los bits de un chip de nivel lógico bajo de un PCF8574 I/O. Esta secuencia de 3 bytes inicia por ejemplo, un sensor de distancias por ultrasonidos SRF08 en la dirección 0xE0. Los 3 bytes se envían al módulo USB-I2C en una secuencia. Un espacio vacío hará que el módulo USB-I2C re-inicie su bucle interno del comando de sincronización e ignore el mensaje. Después de recibir todos estos bytes, el módulo USB-I2C ejecuta la operación de escritura a través del bus IC2 en el PCF8574 y envía un sólo byte de vuelta al ordenador. El byte devuelto será 0x00 (cero) si el comando de escritura falla y será diferente de cero si el comando de escritura se ha ejecutado con éxito. El ordenador esperará hasta que este byte sea devuelto (se deshabilita después de 500mS) antes de proceder con la siguiente transacción.

Para escribir directamente en un dispositivo I2C sin registro de dirección interna:

Esto incluye a casi todos los dispositivos I2C. Después de enviar el comando I2C\_CMD puede enviar la dirección del dispositivo, las direcciones de los registros internos de los dispositivos en los que quiere escribir y el número de bytes que está escribiendo. El número máximo de bytes de datos no deberá superar los 60 para evitar el desbordamiento del buffer interno del módulo USB-I2C.

	Comando primario de USB-I2C	Dirección del dispositivo+ bit R/W	Registro interno del dispositivo	Número de bytes de datos	Los bytes de datos
Tipo de Byte	I2C_CMD	Addr+R/W	Reg.	Byte Count	Data
Ejemplo	0x55	0xE0	0x00	0x01	0x51
Significado	Comando primario USB-I2C	Dirección SRF08 I2C	Registro de comandos SRF08	Sigue un byte de comando	Empezar a medir en cm

Tabla 3.3. Tabla de códigos de bytes de escritura de datos

Esta secuencia de 5 bytes inicia un sensor de distancias por ultrasonidos SRF08 en la dirección 0xE0. Los 5 bytes son enviados al módulo USB-I2C en una secuencia. Un espacio vacío tendrá hará que el módulo USB-I2C reinicie su bucle interno del comando de sincronización e ignore el mensaje. Después de recibir todos estos bytes, el módulo USB-I2C ejecuta la operación de escritura a través del bus IC2 en el SRF08 y envía un sólo byte de vuelta al ordenador. El byte devuelto será 0x00 (cero) si el comando de escritura falla y será diferente de cero si el comando de escritura se ha ejecutado con éxito. El ordenador deberá esperar a que este byte sea devuelto (se deshabilita después de 500mS) antes de proceder con la siguiente transacción.

Para entender un poco este concepto se mostrará a continuación un ejemplo de comando de escritura - esta vez se utilizará una secuencia de 8 bytes para inicializar el controlador del motor MD22, la línea de comandos es similar para el CMPS03:

I2C_CMD	MD22 Addr+R/W	Registro de modo	Recuento de byte de datos	Modo 1 de MD22	Motor izquierdo detenido	Motor derecho detenido	Aceleración rápida
0x55	0xB0	0x00	0x04	0x01	0x00	0x00	0x02

Tabla 3.4. Comandos para escritura de datos

El módulo USB-I2C volverá a responder con un valor distinto de cero si el comando de escritura se ejecuta correctamente y un valor cero si no se ejecuta. Si el comando fallase, entonces significaría que no se ha recibido información desde el dispositivo I2C.

Para leer desde un dispositivo I2C sin registro de dirección interna:

Es similar al comando de escritura, excepto en que se debe sumar 1 a la dirección del dispositivo para que el número sea impar. Para leer de un módulo PCF8574 en la dirección 0x40, se utilizan como dirección el valor 0x41. (Cuando la dirección salga a través del bus I2C, será el 1 que esté en la posición más baja el que indique que se está produciendo un ciclo de lectura). En el cuadro se muestra un ejemplo de lectura de la entrada en un expansor PCF8574.

I2CD_CMD	PCF8574 I2C dirección + Bit de lectura
0x53	0x41

Tabla 3.5. Dirección de datos

El módulo USB-I2C llevará a cabo una operación de lectura en el bus I2C y devolverá un solo bytes (las entradas PCF8574) al ordenador. El ordenador espera a que se retorne este byte (se desactiva después de 500mS) antes de proceder con la siguiente transacción.

Para leer directamente de un dispositivo I2C con registro de dirección interna es similar al comando de escritura, excepto en que se debe sumar 1 a la dirección del dispositivo para que el número sea impar. (Cuando la dirección salga a través del bus I2C, será el 1 que esté en la posición más baja el que indique que se está produciendo un ciclo de lectura). El número máximo de bytes de datos solicitados no puede superar los 60 para evitar el desbordamiento del buffer interno del USB-I2C. En este caso se necesitan leer dos bytes procedente de la brújula CMPS03:

I2C_CMD	CPMS03 I2C dirección + bit de lectura	Registro de retardo de CMPS03	Número de bytes de lectura
0x55	0xC1	0x02	0x02

Tabla 3.6. Comandos de lectura de datos

El módulo USB-I2C llevará a cabo una operación de lectura en el bus I2C y devolverá dos bytes al ordenador siempre el byte de más peso primero. El ordenador deberá esperar a que se retornen ambos bytes (se desactiva después de 500mS) antes de proceder con la siguiente transacción.

Ahora corresponde ahondar un poco en los comandos I2C-USB (o USB-I2C) lo cual es incluíble tener en cuenta para comunicar a la computadora con la brújula digital, para tener una idea más estricta de estos dispositivos es importante aclarar tal función del dispositivo I2C-USB. Este último tiene la función de mediador entre ambos dispositivos (brújula digital y sistema) recordando que actúa como un puerto serial virtual dentro de éste último.

El formato del comando I2C-USB es como aparece en el cuadro subsecuente:

USB-I2C_CMD	Comando USB-I2C	Dato 1	Dato 2
0x5A	Ver abajo	Específico de comando	Específico de comando

Tabla 3.7. Ejemplo de ingreso de comandos para comunicar al I2C-USB

Los comandos propios del USB-I2C están siempre formados por una secuencia de cuatro bytes. Comienzan con el comando primario USB-I2C\_CMD que continúa con el propio comando CM02. A lo anterior les siguen los dos bytes de datos pueden estar vacíos si no están en uso, aunque deberán incluirse para crear una secuencia de comandos de 4 bytes. Estos comandos se observan en la siguiente tabla.

Hexadecimal	Comandos	Bytes devueltos	Función
0x01	REVISION	1	Devuelve el número de revisión del firmware de USB-I2C
0x02	NEW_ADDRESS	1	Modifica la dirección I2C de un SRF08
0x03	UNUSED	1	Sin utilizar - solo para compatibilidad del CM02 - retorno 0x00
0x04	SCAN1	6	Enviar datos del motor - devuelve los datos de la batería, la brújula y el sonar.
0x05	SCAN2	9	Igual pero para 2 SRF08
0x06	SCAN3	12	3 SRF08
0x07	SCAN4	15	4 SRF08
0x08	SCAN6	21	6 SRF08
0x09	SCAN8	27	8 SRF08
0x0A	SCAN12	39	12 SRF08
0x0B	SCAN16	51	Todos los 16 SRF08 posibles
0x10	SETPINS	1	Configuración de los pins I/O altos/bajos
0x11	GETPINS	1	Obtención del estado del pin I/O
0x12	GETAD	4	Obtención del valor análogo en I/O2 y I/O3

Tabla 3.8. Comandos para comunicar al I2C-USB

El Comando REVISION se utiliza para leer la revisión del firmware del dispositivo. Devuelve un sólo byte indicando el número de revisión. Los dos bytes de datos que no están utilizados puede ser cualquier cosa, pero tienen que ser enviados.

El Comando NEW\_ADDRESS se utiliza para modificar la dirección I2C de, citando un ejemplo, un SRF08 con una dirección diferente. La nueva dirección deberá estar en el primero de los dos bytes de datos. Aunque el segundo byte de datos no está en uso y puede ser cualquier cosa, sí que debe ser enviado. Los cambios en las direcciones en los SRF08 requieren 4 transacciones independientes en el bus I2C. El USB-I2C sabe cómo modificar la dirección I2C de un SRF08 y simplemente tendrá que enviarle la nueva dirección a través de este comando. Cuando lo esté utilizando, asegúrese de que tiene un solo módulo SRF08 conectado, ya que de lo contrario definirá la misma dirección para todos los módulos SRF08 que tenga conectados en el bus. Se devolverá un sólo byte con la nueva dirección cuando la tarea haya finalizado.

El Comando UNUSED Sin utiliza, solo para compatibilidades con el CM02, el cual es otro circuito, y da como retorno 0x00.

El Comando SCAN es muy útil al utilizar los módulos propios. Da por sentado que se dispone del módulo de la brújula CMPS03 Después, el módulo USB-I2C enviará un dato de retorno compuesto por la tensión de la batería como un solo byte. Va seguido de los dos bytes de la brújula, recordando siempre, el primer byte de más peso, tendrá que recibir un total de 2 bytes:

Voltios de batería	Byte de nivel lógico alto de la brújula	Byte de nivel lógico bajo de la brújula
--------------------	---	---

Tabla 3.9. Ejemplo de ingreso de comandos para comunicar al I2C-USB

Después de enviar los datos de vuelta a la computadora, el USB-I2C envía automáticamente un nuevo comando hasta donde el usuario disponga.

Hay dos indicadores led de estado en el módulo de la interfaz. El led rojo indica que la alimentación está activa, mientras que si el led verde parpadea brevemente, entonces indica que se está recibiendo un comando desde el bus USB. EL led rojo puede ser apagado o encendido usando el comando SETPINS como aparece debajo. [86]

El siguiente comando apagará el Led rojo y convertirá las I/O a nivel lógico alto para que puedan ser usados como entradas:

USB-I2C_CMD	Comando SETPINS	Data 1	Data2
0x5A	0x10	0x0E	0x00 (sin usar)

Tabla 3.10. Comando para convertir desde I/O a nivel lógico alto para que puedan ser usados como entradas

Cabe mencionar que en un primer intento de comunicación con la brújula y su interfaz USB-I2C se desarrolló una mini-aplicación escrita en Visual Basic .NET bajo el sistema operativo Windows, resaltando que este lenguaje ya posee algunas herramientas para la comunicación directa con el puerto serial y tratándose de un emulador del puerto en mención pudo funcionar perfectamente. Es con este lenguaje como se inició la configuración de las características iniciales de la brújula basándose en las herramientas de diseño empleadas para crear un prototipo parcialmente funcional y de forma flexible [107], sin embargo, para no desviarse del propósito inicial de generar código en plataformas no comerciales se opta por usar por Java, aunque ésta no sea del todo gratuita. La implementación del software creado a partir de plataformas como .NET en Linux no representa ningún problema no obstante se prefirió usar herramientas como las de GNU que comprenden una serie de paquetes de software útiles encontrados comúnmente en entornos UNIX, por lo general los paquetes están disponibles sin costo en internet y el desarrollo de los paquetes es un proceso cooperativo, y el trabajo es realizado por muchos voluntarios, este esfuerzo es conducido principalmente por Richard Stallman [108] pero por motivos relacionados por el uso y manejo adecuado de interfaces gráficas con manipulación de imágenes es preferible utilizar

Java, este lenguaje en sí mismo toma mucha de su sintaxis de C y C++ aparte de que cuenta con licencia de software de tipo GNU GPL/Java Community Process (la cual ha sido objeto de debate en diversas ocasiones).

En el caso del programa del microcontrolador encargado de las labores de ejecución y procesamiento de datos del tragamonedas se consideró usar el lenguaje C, elegido sobre VHDL basado en un minucioso análisis fundamental de ambos; por un lado éste último aparte de que puede utilizarse para la descripción y modelización de sistemas digitales [110], puede administrar la progresión de eventos a lo largo del tiempo aunque se encuentra limitado sobre el tipo de instrucciones que se necesitan en este caso, el código de programación se anexa también en el Manual Técnico.

### ***3.7. Uso del lenguaje Java***

A lo largo de los años, el énfasis en el diseño de los programas se ha desplazado desde el diseño de los procedimientos hacia la organización de datos. Entre otras cosas, esto refleja un incremento en el tamaño de los programas creándose conjuntos de procedimientos relacionados junto con los datos que manipulan, estos conjuntos conocidos como módulos que cumplen con el principio de la ocultación de los datos aplicando técnicas de diseño a cada uno de ellos [105].

Los desarrolladores de sistemas han adoptado a Java a través de los últimos años porque el lenguaje se abstrae del nivel de hardware, haciendo que las aplicaciones sean portables. Con este lenguaje las industrias relacionadas pueden obtener como objetivo una plataforma API independiente y migrar todas las aplicaciones a diferentes dispositivos sin la necesidad de recompilar. Por ello, la naturaleza orientada a objetos de Java soporta bastante bien al desarrollo estructurado y al re-uso del software.

Este lenguaje ofrece además un camino práctico hacia la implementación aparte de que está ampliamente disponible e incluso ofrece apoyo para el desarrollo de programas. Un punto de consideración es que Java no permite la manipulación de apuntadores, lo que a menudo da pie a errores difíciles de encontrar, los apuntadores están ocultos al programador y se manejan automáticamente tras bambalinas. En el momento de la ejecución, Java verifica que los subíndices de arreglos estén dentro del intervalo definido y cuida que no haya otras incongruencias que puedan originar errores escondidos. Se efectúa la recolección de basura (más tarde se abordará) reciclando el espacio de almacenamiento de objetos a los que ya no se hace referencia aliviando conside-

rablemente la carga de nuestro trabajo como programadores en cuando a administración de espacio. [119]

Finalmente, la máquina virtual de Java provee una plataforma dinámica con medio seguro de ejecución. Java no es sólo un lenguaje de programación, sino que es una plataforma completa dinámica que requiere infraestructura extra para correr sobre desarrollos embebidos. En este caso al usar Java, son tomados en consideración los recursos, el tipo de integración y los requerimientos de desarrollo en tiempo-real para determinar la factibilidad del uso de Java.

Java no tiene ningún mecanismo explícito para la administración de la memoria. La asignación y eliminación de objetos está determinada en cooperación entre la JVM y el *garbage collector* o recolector de basura. Por un lado, aísla al desarrollador del procedimiento de mantener cierta instrucción sobre el uso de la memoria dentro de una aplicación. Por el otro, el recolector de basura es un proceso no-determinista y no puede ser esquematizado. Como resultado, uno no puede asegurar exactamente cuándo la JVM limpiará al objeto *heap*. Desde que la aplicación se ejecuta, el recolector de basura aparece como un *thread* de baja prioridad y no incluye mecanismos para controlar directamente el comportamiento del recolector. La API de Java provee el método *System.gc()*, para llamar al recolector de basura, sin embargo este método no garantiza nada ya que éste meramente envía una sugerencia a la JVM para limpiar al objeto *heap*.

Aunque la JVM internamente mantiene un estado sobre la información del objeto heap, la divide dentro de tres estados: verde, amarillo o en estado rojo. Cuando no existe una limitación de memoria, la JVM opera en estado verde, cuando la memoria cae por debajo del umbral especificado, la JVM entra en estado amarillo, lo cual significa que deberá agendarse al recolector de basura lo más pronto. Si la aplicación se mantiene en ejecución, la JVM entra en estado rojo que significa que el objeto *heap* está casi saturado y el colector necesita estar presente inmediatamente. La siguiente tabla muestra la asignación de tiempo promedio para cada una de las aplicaciones de java:

Función de la aplicación	Tiempo de ejecución
Asignación y recolección de basura	20%
Sincronización de threads	19%
Ejecución de métodos nativos	1%
Interpretación del Bytecode	60%

Tabla 3.11. Asignación de tareas de Java [100]

Posteriormente se necesitaron de ciertas configuraciones e instalaciones de paqueterías dentro del sistema aparte de Java para echar a andar la aplicación desarrollada, por tal motivo primeramente fue necesario instalar java con el procedimiento normal (ver Manual Técnico) y configurar el *Path* y *Classpath*, estas son las variables que almacenan la ruta que tienen que seguir los programas de Java para poder compilar, ejecutarse y buscar librerías necesarias al momento de escribir el código, el hecho de no configurar estas variables no causará algún efecto. Para ello se accede a la consola como root y se abre el archivo */etc/profile* con un editor cualquiera (como gedit, kate, kwrite, etc...) agregando las siguientes líneas:

```
“export JAVA_HOME=/usr/lib/java/”
```

```
“export CLASSPATH=$CLASSPATH:/usr/lib/java/lib”
```

```
“export PATH=$PATH:/usr/lib/java/bin”
```

Donde *“/usr/lib/java/”* es el directorio donde se encuentra la carpeta de Java, hay que recordar que se debe establecer la ruta correspondiente y en el caso del *PATH* al final su ruta llega hasta la subcarpeta bin, aquí es donde se busca el compilador y en el caso del *CLASSPATH* sería lib. La arquitectura del programa base del sistema está enfocada en esencia a los algoritmos de programación dinámica, este tipo de programación ha evolucionado hasta convertirse en un importante paradigma del diseño de algoritmos en ciencias de la computación. En realidad, el nombre originalmente describía el problema más que la técnica para resolverlo y es una excelente opción para implantarlo como regla en el código escrito. Empleando el concepto anteriormente propuesto a nuestro programa se hace necesario atacar el problema “de arriba a abajo”, es decir; se determina cómo resolver un problema grande suponiendo que se conocen soluciones para problemas más pequeños.[119] Con base en el número de sub-problemas se puede analizar la complejidad del procedimiento de programación por su relación con la búsqueda primero en profundidad en el grafo de sub-problemas, y que, como consecuencia todos los sub-problemas de los que depende el sub-problema actual ya se habrán calculado previamente aunque por lo regular sólo un conjunto pequeño de los datos tiene que ver con la solución final.

El rotor es manipulado con las bibliotecas predefinidas de Java, una de ellas llamada *MouseListener* que es la interfaz preferida para comunicar este dispositivo con el sistema, la interfaz escucha o recibe eventos del *mouse wheel* de cualquier componente habilitado, la clase que está interesada en el procesamiento del evento de la rueda del ratón implementa esta interfaz incluyendo a todos los métodos que contiene. El objeto escuchador creado a partir de esa clase es re-

gistrada con un componente utilizando el método del componente *addMouseListener*. Un evento de la rueda del ratón se genera cuando ésta es rotada, cuando un evento de este tipo ocurre, ese método *mouseWheelMoved* es invocado. Esta interfaz está disponible para todas las versiones del desarrollador de Java desde la versión 1.4 en adelante, para consultar el código fuente generado para tal propósito consultar el Manual Técnico. Dentro del código creado se considera la correcta selección y consulta de datos, esto es que, al momento que el usuario decide seleccionar una imagen girando el rotor el sistema desplegará tal imagen, la cual está agrupada en una colección de información que requiere un sistema de almacenamiento considerable para alojar los datos [114], de acuerdo a lo anterior, se tiene un sistema menor de consulta de datos expresada en un alto nivel atendiendo una serie de peticiones de datos almacenados. La interfaz gráfica de usuario o GUI proporciona una interfaz ilustrada de un programa mostrando una apariencia visual del mismo. Ya que las GUIs ofrecen a la aplicación creada un conjunto consistente de componentes intuitivos de interfaz de usuario, el usuario no necesita desperdiciar tiempo en usar secuencias de teclas usando el programa de forma más productiva. En Java las interfaces gráficas se crean a partir de componentes GUI, los cuales son objetos con los que el usuario interactuará con dispositivos periféricos. Para este caso se utilizaron algunos componentes GUI como *JPanel* el cual es un contenedor recipiente de otros componentes. Las clases que se utilizan para crear tales componentes forman parte de GUI, la cual pertenece a Swing y que se encuentran en el paquete *javax.swing*, estos elementos son los más recientes de la plataforma Java 2. [117] Los componentes Swing están escritos, se manipulan y se despliegan completamente en Java.

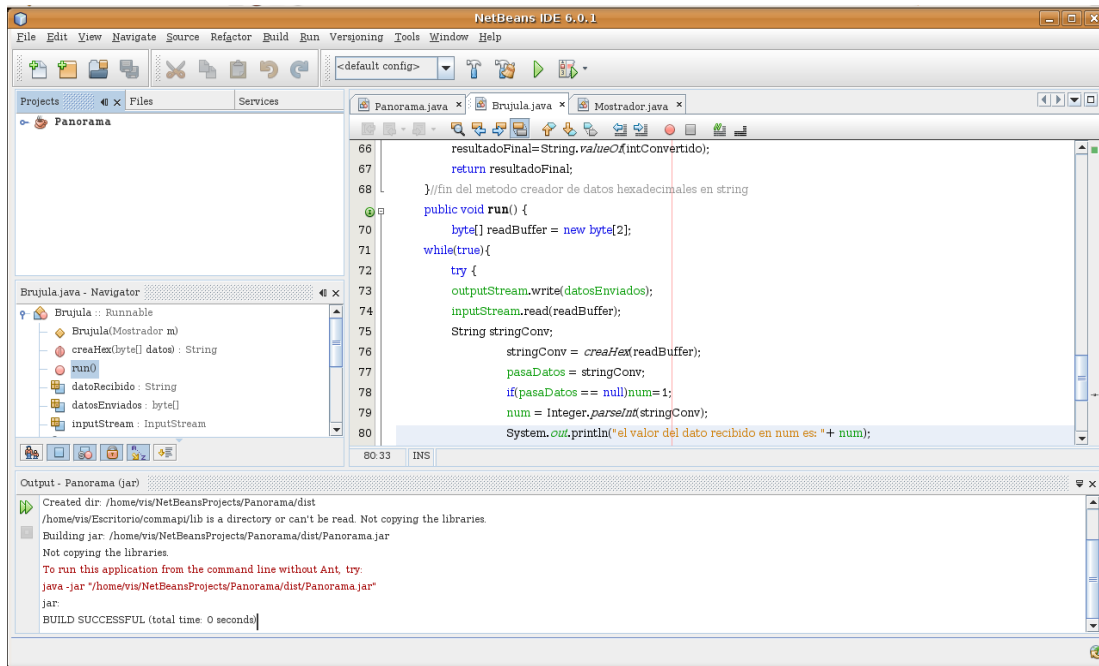


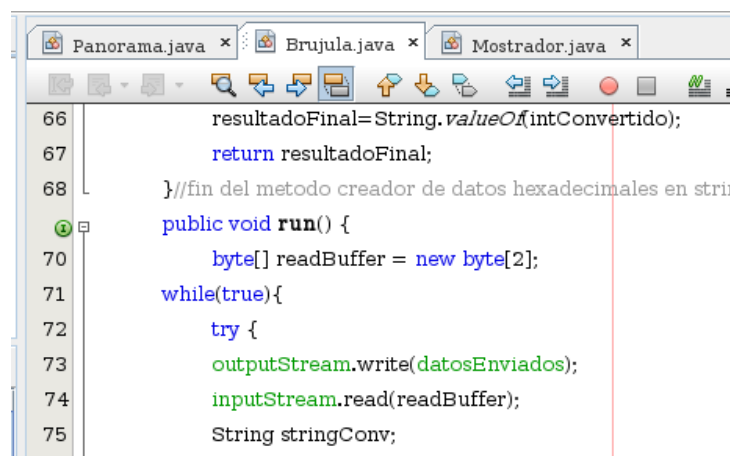
Imagen 3.13. Toma de pantalla del código principal.

Como en este programa se ingresa a dispositivos externos para obtener determinados valores es importante localizar los posibles errores que puedan surgir al estar en comunicación con el exterior. Para ello en Java se ha utilizado la función de excepción utilizada para evitar cualquier variedad de circunstancias en las que el software pudiera fallar, no significa que el código esté mal implementado sino que se utiliza esta herramienta para ser cauteloso de cualquier probabilidad, todo software de buena calidad debe enfrentar problemas predecibles de una manera satisfactoria. Como se recordará, este sistema mantiene un lazo estrecho entre hardware y software aún así existen algunos elementos pre-empacados, es decir clases y métodos creados en Java de otras compañías que los crearon tiempo atrás, todo ello para simplificar el proceso de diseño por tanto es esencial tratar estos elementos como encapsulados sin preocuparse por saber cómo funcionan internamente, pero es imprescindible que los componentes que se usan puedan informar al software de nuestro sistema sobre las situaciones de error. El software entonces se debe configurar para detectar para detectar dichas notificaciones y actuar de manera alternativa, la parte difícil está en la acción a tomar posterior. Los sistemas complejos constan de una jerarquía de métodos, algunas excepciones pueden manejarse de forma local en el método en el que ocurren, pero en casos más graves se necesita pasarse más a los métodos de nivel alto. [118] Todo depende de la naturaleza del error, en resumen, existen distintas categorías de errores y en este caso son tratados

en distintos lugares uno de ellos en la parte de la comunicación serial, como se indica en el siguiente código:

```
try {
    serialPort = (SerialPort)
    portId.open("/dev/ttyUSB0", 2000);
    inputStream = serialPort.getInputStream();
    outputStream = serialPort.getOutputStream();
    serialPort.notifyOnDataAvailable(true);
    serialPort.setSerialPortParams(19200, SerialPort.DATABITS_8, SerialPort.STOPBITS_2, SerialPort.PARITY_NONE);
    break;
} catch (Exception e) {}
```

Como se puede observar se está utilizando un tipo de estructura de control que ya han sido escritas pero ahora se necesita manejarlas. En Java, para indicar que ha ocurrido una excepción, se dice que se ha lanzado y cuando se detectan en cualquier otra parte, se dice que son atrapadas. Además, en el lenguaje de programación existen las palabras clave *throws*, *throw*, *try* y *catch* para llevar a cabo estas tareas, como se muestra a continuación.



```
66         resultadoFinal=String.valueOf(intConvertido);
67         return resultadoFinal;
68     } //fin del metodo creador de datos hexadecimales en stri
69
70     public void run() {
71         byte[] readBuffer = new byte[2];
72         while(true){
73             try {
74                 outputStream.write(datosEnviados);
75                 inputStream.read(readBuffer);
76                 String stringConv;
```

Imagen 3.14. Parte del código principal

El código restante explicado está en el Manual Técnico.

### 3.8. Comunicación entre dispositivos

Otro de los principales desafíos en este punto fue el de comunicar de forma serial tanto la interfaz de la brújula digital como el tragamonedas; con la interfaz de la brújula se debe buscar la manera de comunicar un dispositivo I2C con el sistema a través de la USB y específicamente con la ruta */dev/ttyUSB0* la cual es reconocida por el sistema como un puerto serial virtual. Será necesario utilizar algún tipo de puente de comunicación entre el sistema y la brújula considerando que no es posible conectar un dispositivo I2C directamente a un puerto USB o RS232, es por ello que es

necesario un convertidor serial a pesar de que aún se cuente con algún tipo de interfaz serial. De ahí que es necesario un dispositivo USB-to-I2C o RS232-to-I2C y ya desde aquí conectar a cualquier adaptador USB-RS232 según se requiera.

Existe la posibilidad de escribir algún tipo de convertidor RS232-to-I2C pero sería importante conocer el diseño del circuito, el protocolo I2C solicitado, y programarlo todo en un microcontrolador. Finalmente se concluyó por adquirir una interfaz física que se conecta al puerto USB del sistema (USB-to-I2C), al momento de conectarlo al sistema éste lo detecta en el puerto `/dev/ttyUSB0`. Recapitulando, esta interfaz contiene el chip integrado FT232 de la empresa FTDI y para comunicar este dispositivo con el sistema se tuvo que crear una aplicación sabiendo los comandos básicos de comunicación algunos de los cuales son proporcionados por el fabricante. [99]

Los datos enviados por la brújula a través de la interfaz hacia el puerto USB están a modo de bits como se comentó, para tal efecto se considera emplear en el código creado un método encargado de resolver la codificación partiendo de valores hexadecimales en bits a números comprensibles para el programa, de igual modo sucede con el tragamonedas para lo cual, con el fin de evitar este problema, se implementa dentro del programa grabado en el microcontrolador una función encargada de enviar valores hexadecimales que el programa receptor convertirá a código ASCII, este último es un código estandarizado muy empleado para intercambio de información. [106]

### **3.9. Diseño de imágenes**

Como ciertamente se comentó desde un principio, el proyecto consta de mostrar al usuario una reconstrucción digital de épocas pasadas de zonas históricas, en un primer término nos enfocaremos al centro histórico de la Ciudad de Puebla en México, para todo esto se necesita de herramientas gratuitas como GIMP bajo la plataforma Linux para realizar los dibujos de las fachadas basadas en libros obtenidos del Archivo Municipal de la ciudad, la reconstrucción estuvo planeada elaborarla en Blender, el cual es un programa informático multiplataforma dedicado especialmente al modelado, animación y creación de gráficos tridimensionales. Para generar una reconstrucción digital que tenga un parecido con la realidad es necesario usar algoritmos de trazado de rayos.

El trazado de rayos es una técnica muy poderosa que nos permite visualizar mundos en 3D con una calidad sin precedentes. La calidad de las imágenes generadas con esta técnica son fotorrealistas y es muy difícil diferenciarlas de la realidad.

Se puede encontrar en muchos paquetes gráficos tanto comerciales como gratuitos, entre ellos el modelador 3D Blender. Entre otros, la usan los creadores de películas. Un ejemplo es la película “El señor de los anillos”, en la que se usó esta técnica distribuida en un granja de PCs comunes y corrientes; una solución económica y poderosa que marca una tendencia actual.

En otras palabras, al usar el trazado de rayos para graficar las zonas históricas se obtiene una calidad impresionante. Si bien esta técnica es excelente, el costo computacional que tiene es prohibitivo, sobre todo si se desea ejecutar en alguna aplicación en tiempo real. Para procesar un cuadro puede tardar desde algunos minutos hasta horas. Todo depende de la complejidad de la escena de reconstrucción histórica y de la velocidad de la computadora.

El algoritmo de trazado de rayos es un algoritmo recursivo que consiste en “lanzar” un rayo por cada pixel de la pantalla y hacerlo rebotar por toda la escena una cantidad determinada de veces. Este rayo en realidad es un vector (matemático) que se interseca con los objetos de la escena.

Para hacer esta intersección, el algoritmo básico de TR tiene que comprobarla con todos los objetos de la escena. Hay muchos que no va a intersectar, y de los objetos que intersecta elige el que esté más cerca del punto de visión o de la cámara.

Es un algoritmo que de una forma u otra posee relativa simplicidad, poco código necesario, y potencia para producir resultados asombrosos.

Comparativamente es mucho menos artesanal que OpenGL y DirectX, y con unas pocas reglas logra mejores imágenes que estos 2, aunque es mucho más lento.

Para tener una idea del algoritmo se calculará lo siguiente: por cada pixel se debe lanzar un rayo, y por cada rayo se tiene que intersectar con todos los objetos de la escena. La fórmula de cantidad de intersecciones totales sería:

$$I = \text{pixAncho} * \text{pixAlto} * \text{cant\_de\_objetos}$$

Si se tiene una pantalla de 1024 x 768 y 100 objetos entonces se tiene lo siguiente:

$$1024 * 768 * 100 = 78643200.$$

Dando como resultado casi 78 millones de intersecciones.

En caso de que el algoritmo fuese realizado en tiempo real como anteriormente se mencionó se necesitarían de 24 cuadros o más por segundo.

Cuando un rayo intersecta a un objeto, desde ese punto en el espacio, el rayo rebota en varios más. Y esos a su vez van a seguir rebotando en otros objetos, hasta una profundidad que el usuario especifique. El color que devuelva el rayo va a ser la mayor parte el color del objeto que intersectó primero y de la luz, después va a ser el promedio de los colores de los objetos que intersectó en segundo lugar. Cuanto más profundo vaya el rayo menos influye el color de los rayos más profundos.

De esta forma se obtienen matices para los objetos que dependen del entorno en el que están, que de alguna forma esto ocurre también en la vida real. [101]



Imagen 3.15. Fachada creada y diseñada en GIMP que forma parte de la reconstrucción digital del centro histórico de Puebla

Las sombras son el punto fuerte del trazado de rayos, además de que se producen por interacción y no están predefinidas, lo que asegura imágenes muy reales.

Otro efecto interesante es el *antialiasing*, el cual es un suavizado que evita los serruchos en las imágenes. Estos ocurren cuando hay cambios demasiado bruscos en la intensidad de los pixeles, y se nota aún más cuando se carece de un monitor de alta resolución. El efecto serrucho se produce cuando el color de los pixeles cambia repentinamente de blanco a negro. El *antialiasing* se produce lanzando más rayos por pixel, por ejemplo 4 (2x2), 9 (3x3), 16, 25, etc. (recordando que el pixel es cuadrado).

El desenfoque es otro efecto muy interesante. Se puede simular profundidad de campo en nuestras escenas de la siguiente forma; la cámara ve nítido a cierta distancia, y los objetos que no estén a esa distancia se vuelven borrosos, al igual que pasa con las cámaras fotográficas reales.

Un rayo precisamente es un conjunto de números calculando su trayectoria usando geometría analítica entre otras ramas de las matemáticas, para graficar las imágenes que se necesitan en el proyecto se deben tomar en cuenta los principios en los que está envuelto el trazado de rayos, por ejemplo, en este caso se necesitarán de muchos objetos dentro de la reconstrucción histórica, entre ellos a la esfera; para encontrar la intersección entre un rayo y una esfera podemos usar la siguiente ecuación en notación vectorial con centro  $c$  y radio  $r$ :

$$\|x - c\|^2 = r^2 \quad (9)$$

Cualquier punto en un rayo iniciando desde el punto  $s$  con dirección  $d$ , donde  $d$  es un vector y puede ser escrito como:

$$x = s + td \quad (10)$$

Donde  $t$  es la distancia entre  $x$  y  $s$ , en este sentido, se conoce a  $c$ ,  $r$ ,  $s$ , y  $d$ .  $s$  puede ser considerado la posición de la fuente de luz, por tanto se debe encontrar  $t$ , por ello se sustituye por  $x$ :

$$\|s + td - c\|^2 = r^2 \quad (11)$$

Considerando que  $v$  por definición es igual a  $s-c$ , entonces:

$$\|v + td\|^2 = r^2 \quad (12)$$

$$v^2 + t^2 d^2 + 2v \cdot td = r^2 \quad (13)$$

$$(d^2)t^2 + (2v \cdot d)t + (v^2 - r^2) \quad (14)$$

Sabiendo que  $d$  es un vector único permite simplificar como sigue:

$$t^2 + (2v \cdot d)t + (v^2 - r^2) = 0 \quad (15)$$

Esta ecuación cuadrática tiene la solución:

$$t = \frac{-(2v \cdot d) \pm \sqrt{(2v \cdot d)^2 - 4(v^2 - r^2)}}{2} \quad (16)$$

$$= -(v \cdot d) \pm \sqrt{(v \cdot d)^2 - (v^2 - r^2)} \quad (17)$$

Ambos valores de  $t$  encontrados para solucionar esta ecuación son los únicos de tal modo que  $s+td$  son los puntos donde el rayo intersecta la esfera. [103]

Todos estos efectos gráficos funcionan para desempeñarse adecuadamente como profundidad de campo e iluminación, que son algunos de los puntos que más interesan dentro del presente proyecto dando un realce pronunciado.

### **3.10. Acoplamiento entre hardware y software**

Ahora que la parte del diseño y desarrollo del hardware y el software han concluido, se procede a suministrar una cubierta para los dispositivos físicos siguiendo los objetivos principales de crear un visor panorámico. En este paso se explica el armado del dispositivo que mostrará el material gráfico con apoyo de un tripieé o similar, el área que ocupará debe ser reducida y optimizada para que no se convierta en un estorbo para el usuario, y se debe comportar como un elemento extra al cual acudir visualmente.

La combinación entre hardware y software ha quedado constituida ya en esta fase final ubicándose como un conjunto de sistemas todos interconectados al sistema procesador central el cual es el encargado de dictar órdenes al resto de los componentes y es donde se almacena tanto la información y datos principales como las imágenes de la reconstrucción digital del centro histórico de la ciudad, todos los elementos se complementan entre sí, ya que por citar un ejemplo, en el caso de que el usuario accione al tragamonedas, la interfaz de éste emite un pulso de señal enviándolo al CPU y al llegar ahí se emitirá una sentencia, en tal caso será cambiar la portada actual desplegada en el monitor por el de las imágenes de la reconstrucción digital como se muestra en la siguiente figura.



Imagen 3.16. Monitor mostrando reconstrucción digital

Respecto al sistema totalmente terminado se puede decir que quedó constituido de la siguiente manera:

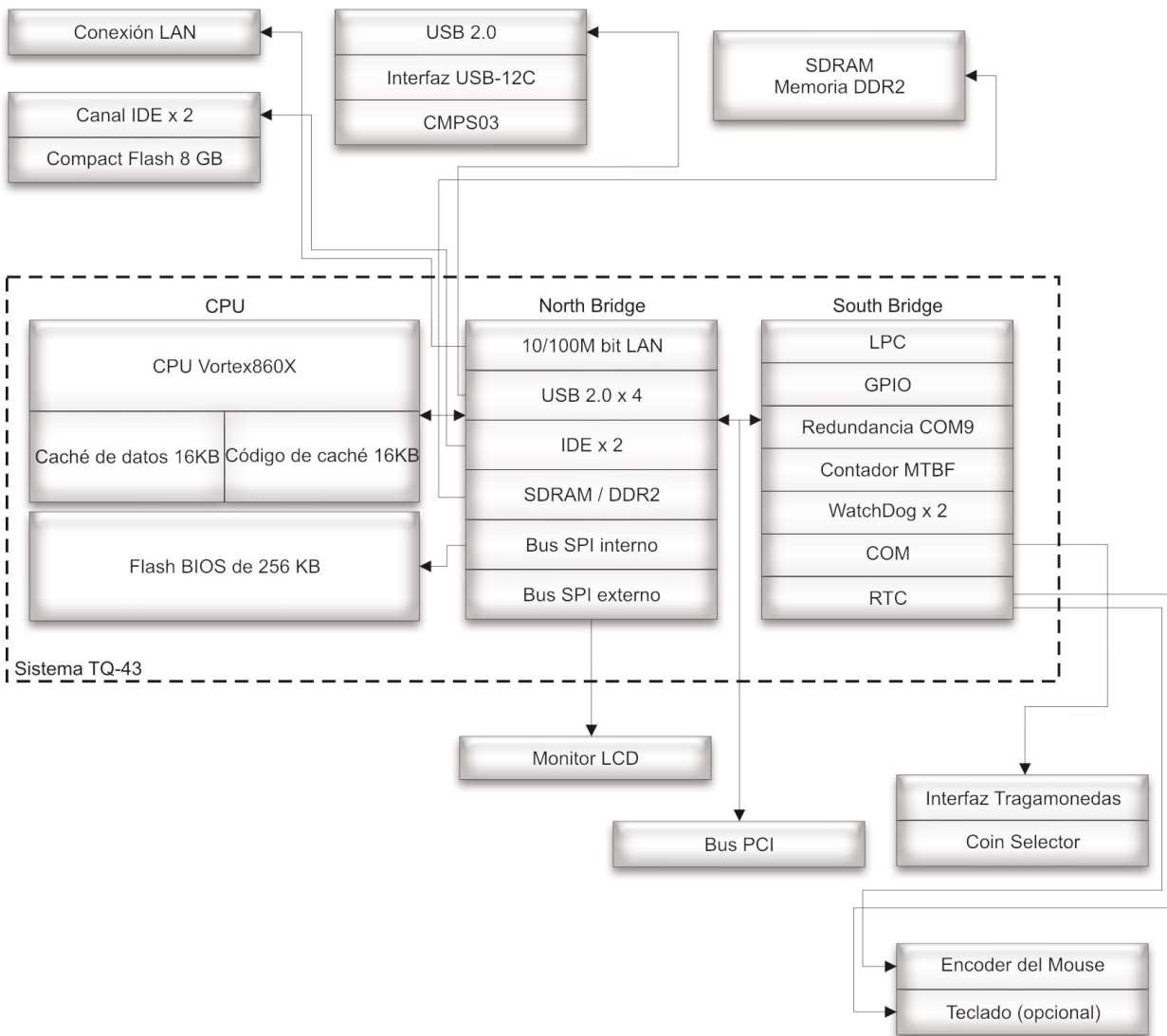


Imagen 3.17. Diagrama de bloques del sistema

Como se puede notar en el anterior diagrama se observa que dentro del sistema se utiliza el Bus SPI tanto interno como externo lo cual es muy común en los sistemas digitales usado principalmente para la transferencia de información entre circuitos integrados en equipos eléctricos; la arquitectura del sistema Vortex permite usar el bus SPI externo para comunicarse con el monitor LCD, en tanto el bus interno se encarga del transporte de datos dentro del CPU.

El uso de la conexión LAN fue vital para la actualización del sistema en sí, debido a que fue necesario utilizar los repositorios web oficiales de Debian para la descarga de complementos tales

como la interfaz gráfica Gnome, Java, Netbeans entre otros. Por el lado de los puertos USB, como se indica en el diagrama, existen 4 puertos USB 2.0 en el sistema siendo necesario utilizar sólo uno para conectar la interfaz USB que enlaza al sistema y la brújula digital. El canal IDE es vital para la inserción de la tarjeta CF la cual actúa como disco duro dando la posibilidad de aumentar su capacidad en caso de que sea necesario y sólo se tendrá que reemplazar por otra con más GB de almacenamiento. La interfaz del tragamonedas así como el monedero electrónico está acoplado al puerto DB9 indicado en el diagrama como COM mientras que el encoder del ratón o mouse y el teclado están relacionados al RTC, el cual es un controlador digital que ejecuta instrucciones en tiempo real, esto es, que siempre está a la escucha de las acciones de los dispositivos conectados, en el caso del teclado, este es un dispositivo temporal ya que sólo ha sido necesario al momento de la configuración inicial del sistema y por ende se considera como opcional. Para fabricar el montaje y el montado de la estructura se considera la altura de este, se determinó el remate basado en un promedio de las alturas de los visitantes y se resolvió con una longitud total 1.50m. Así mismo, la carga visual abarcará el espacio superior del monitor ya que la parte inferior es un espacio perdido dentro del ángulo de visión del visitante como se muestra en la siguiente imagen.

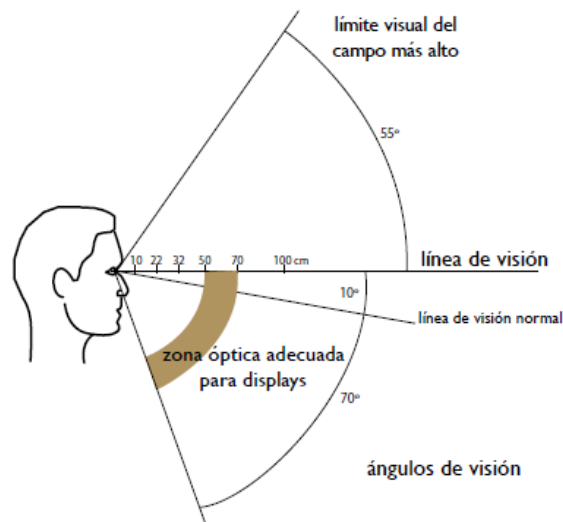


Imagen 3.18. Ángulos de visión del usuario [81].

El armado consta de varias secciones horizontales en cada una de las cuales está alojada un elemento del sistema, entre ellos la brújula digital, cabe mencionar que el sistema emite unas pequeñas ondas de interferencia lo cual no es del todo propicio para la brújula sin contar que ésta debe

estar aislada de imanes y algunos otros dispositivos, por todo esto se debe resaltar que es importante evitar las interferencias electromagnéticas.

Una de las opciones más habituales para evitar interferencias es proteger el sistema electrónico para que estas no entren en el interior, una solución a esto es un apantallamiento. Un apantallamiento consiste en recubrir con una malla metálica al dispositivo para que no entre la radiación. Para hacer un buen apantallamiento hay que tener en cuenta varios aspectos:

La energía apantallada tiene que ir a algún sitio, es decir, no se puede colocar el apantallamiento sin más, si no que este debe ir conectado a tierra para que la energía tenga una salida a través de la protección metálica. El no tener en cuenta esta consideración es uno de los fallos más habituales a la hora de instalarlo. Un ejemplo muy habitual suelen ser las instalaciones de redes Ethernet, donde muchas veces ponen cable apantallado que es mucho más caro que el normal y que después olvidan colocar conectores apantallados. Estos conectores son igual que los RJ45 normales pero están recubiertos con una chapa metálica que es la que une el metal del apantallamiento con la parte metálica del conector de la tarjeta de red que está conectado a tierra.

Por último se debe estar consciente de que las interferencias son inevitables. En este trabajo se usan cables algo largos para conexiones USB (por citar algunos) por lo que estos cables captarán radiación que hay en el ambiente debido a los teléfonos celulares, la radio y otros aparatos que es muy normal que emitan al ambiente, por lo que se debe disponer de un dispositivo capaz de filtrar dichas interferencias. Las interferencias pueden aparecer en cualquier momento y de cualquier manera. Aunque en su inmensa mayoría los dispositivos están preparados para ellas, muchas veces se realizan instalaciones a su alrededor sobre todo cableados que pueden facilitar la introducción de interferencias en el dispositivo. Los efectos de las interferencias pueden variar, desde una pérdida total de la comunicación, hasta corrupción de los datos e incluso ralentización de la transmisión de los mismos. La ralentización se produce en la mayoría de los casos porque es el propio dispositivo el que detecta que los datos están corruptos y los vuelve a pedir por lo que deberán enviar varias veces el mismo dato para que se considere transmitido. Sea cual sea la problemática lo mejor es siempre prevenir ya que un problema causado por interferencias es complicado de diagnosticar y por último lugar se deberá evitar captar las interferencias apantallando [122]. Los planos del prototipo general del visor contempla a todos los sistemas integrados con el CPU basándose en el diagrama de bloques del proyecto como se muestra en la siguiente imagen; sin duda una de las cuestiones a resolver a futuro será la de determinar el tipo de material y tama-

ño de la estructura que cubrirá al visor por completo, aunque se pone de manifiesto que de forma teórica e ideal el sistema está íntegramente terminado, resulta que para llevarlo a la práctica exteriorizando y exponiéndolo al usuario se deberán considerar varios conceptos relacionados al mobiliario urbano como la conexión externa de corriente, la creación de un armazón o esqueleto a prueba de inclemencias del tiempo, etc.

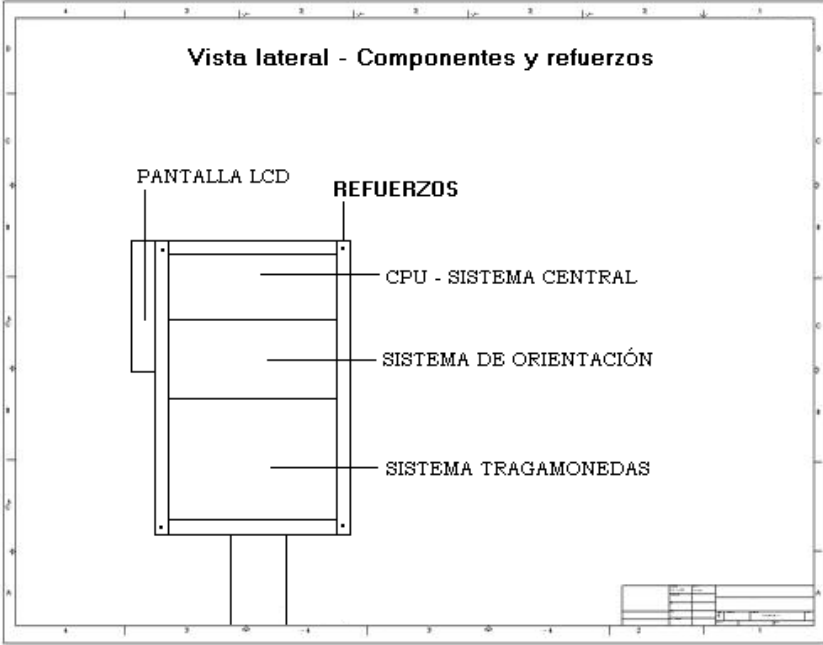


Imagen 3.19. Planos del prototipo

## **Conclusiones y Perspectivas**

Como resultado final se concluye el óptimo funcionamiento de la etapa inicial del sistema considerando los costos y el material que implican su terminación. A corto plazo se tiene programado presentar el proyecto a alguna corporación o institución académica para obtener los recursos necesarios para la terminación total (como elemento completamente funcional). Para determinar la factibilidad del proyecto tendrán que existir usuarios potenciales, para ello será necesario agrupar información, por tanto existen varias maneras para realizar tal labor. Los dos métodos que se usan para recolectar datos son los experimentos y las encuestas, en ésta última los datos se obtienen al muestrear alguna parte de la población de interés; a corto plazo la tarea de compilar datos sobre la opinión de los usuarios se hace en base de un marco muestral, que no es nada más que una lista de elementos que pertenecen a la población de la cual se obtendrá la muestra. [113] En base a lo recopilado se podrá determinar que tan viable es el lanzar el proyecto de forma de exhibirlo al público obviamente habiendo considerado todos los posibles defectos que este contenga.

### **Conclusiones**

Se pudo cumplir el objetivo de abordar conceptos fundamentales tanto de electrónica como de computación así como de nociones relacionadas todo esto bajo un fuerte sentido de ayuda social enfocando el esfuerzo de impartir en la población un cierto grado de conciencia sobre las civilizaciones que nos precedieron y que fueron base de lo que hoy somos, no obstante también bajo un enorme sentido de respeto y responsabilidad involucrando a las futuras generaciones al estudio de nuestras raíces para que perduren durante mucho más tiempo y sean objeto de orgullo.

A juicio propio se considera como concluida la fase de investigación e implementación si se toma en cuenta el hecho de explotarlo comercialmente, ya que para tal hecho, aparte de considerar un estudio muestral (como se comentó anteriormente), será necesario contar con las suficientes posibilidades económicas para llevarlo a cabo entre otros puntos.

Por otro lado, dada la expresión de resultados emitidos principalmente durante la parte final del proyecto, se puede recalcar que la hipótesis planteada al inicio ha quedado comprobada reflejando ciertos alcances y limitaciones del proyecto despejando a toda cuenta la mayor parte de dudas que posibilitaron un enfoque totalmente visible referentes al ideal inicial integrándose bajo previos trabajos de investigación y obras consultadas relacionadas que sirvieron para fundamentar al presente proyecto.

## ***Perspectivas***

A futuro también se contempla examinar su implementación en algunas zonas arqueológicas basado en el mismo principio de reconstrucción digital histórica ya sea en asentamientos como la pirámide de Cholula en Puebla, lugares históricos mayas de Yucatán, etc., con el único objeto de mostrar el apogeo de estas impresionantes culturas ocurridas en las llamadas eras del Clásico y Posclásico [115] incentivando al usuario a admirar e indagar un poco más sobre antiguas civilizaciones. En un futuro a mediano o largo plazo está contemplado el uso de celdas solares para alimentar con voltaje al prototipo en un futuro no muy lejano aprovechando. Desde otra perspectiva existe la posibilidad de incubar esta idea con apoyos de instituciones como el CONCACYT para que tal vez este proyecto pueda plasmarse en la realidad cumpliendo con el objetivo esencial de revivir el pasado e involucrar a las personas con nuestras raíces. Para tal efecto se tendrá que elaborar un plan de costos y de negocios realizando encuestas entre los posibles usuarios indagando que tipo de reconstrucción digital histórica es más popular invitando a los usuarios a breves demostraciones del producto. [120]

Se tiene planeado la implementación de un dispositivo que conectado al sistema principal sea capaz de actualizar información gráfica (tales como imágenes digitales) y datos de forma remota; esto es que se tiene planeado acoplar al sistema una tarjeta de red inalámbrica que sea capaz de detectar señales de internet Wi-Fi para que de esa manera se conecte a un servidor usando servicios de red de largo alcance y se pueda establecer una red interna entre éste y el sistema, con el objetivo ya planteado sin la necesidad de realizar tal tarea de forma presencial, es decir, no tener que llegar al sistema físicamente, abrir su chasis o carcasa y cambiar los datos recompilando y correr nuevamente la aplicación, esto se tiene contemplado junto con algunas otras ideas que se tienen en mente que complementan al proyecto y le dan un valor agregado.

## ***Limitaciones***

Ahora que se tiene un amplio margen de visión fundamentado claramente en proyectos pasados y en toda la investigación realizada, es posible saber todo tipo de limitaciones que competen al trabajo actual; primeramente en el caso particular del sistema TQ-43 se han detectado inconvenientes respecto al hardware como es la necesidad de incrementar el nivel de memoria RAM en caso de querer aumentar el número de imágenes para desplegar en pantalla.

# Bibliografía

A continuación se enumeran las referencias bibliográficas incluso detallando los sitios web consultados ordenados por su número de aparición dentro del presente trabajo.

## **Referencia escrita y documentación PDF**

- [1] Castillo Gilda, Lecturas de Puebla Tomo I, Gobierno del Estado de Puebla, 1ra edición, Puebla, México, 1994.
- [2] Linux en Sistemas Empotrados, Seminario UAM II, México. *Seminario\_UAM\_II.pdf*
- [4] Sistemas empotrados. *14-Pres-Luis-Trejo.pdf*
- [10] Santiago Espinosa Felipe, Sistemas Empotrados, Universidad Tecnológica de la Mixteca, México, 2008,
- [11] Sistemas Empotrados, José Luis Villarroel Salcedo, 2006. *SE.pdf*
- [12] Imagen de Diagrama de clasificación de sistemas empotrados, página 12 de *SE.pdf*.
- [20] Equipo editorial, Gran Diccionario Enciclopédico Ilustrado Tomo XI, Reader's Digest México, México, 1986.
- [35] Escaparates interactivos, Innovalia Asesores, S.L., *tactil.pdf*
- [36], [37] Figueroa y González de la Vega, Tesis de La gran pirámide de Cholula, El diseño de información y solución de problemas, UDLAP, México, 2005.
- [45] Digital Compass, NXP Company, *AN000022\_COMPASS.pdf*
- [47] Sensores Acondicionadores y Procesadores de Señal, Jordi Mayné, SILICA-Avnet Division, *Sensores\_Acond.pdf*
- [48] Aldana Salinas Oscar Daniel, Tesis de Brújula electrónica, IPN, México, 2008.
- [52] TQ System Manual Version 1.7, E-Way Company, Taiwan R.O.C., 2009, *01-TQ-User-Manual-V2.pdf*
- [56] DMP Electronics, Taiwan, R.O.C., 2009, *eBox-3300\_XP\_Installation.pdf*
- [65] Equipo editorial, Gran Diccionario Enciclopédico Ilustrado Tomo II, Reader's Digest México, México, 1986.
- [66] Pérez Montiel Héctor, Física General, Publicaciones Cultural, 1ra edición, México, 2001.
- [72] Eway Technology Systems LCD Monitor Quotation, Taiwan R.O.C, 2009, *Eway\_LCD\_monitor\_quotation\_Aug\_v02[1].pdf*
- [81] Dreyfus Henry, The measure of man. Human factors of design, Nueva York: Whitney Library of Design, Estados Unidos, 1967.
- [95] Eric López Pérez, Ingeniería en Microcontroladores-Protocolo RS-232, México, 2005, *rs-232\_2.pdf*
- [98] José Juan Rincón Pasaye, Descripción general del PIC16F877A, México, 2005, *Subfamilia.PIC16F877.pdf*
- [100] Deepak Mulchadani, Java for Embedded Systems, IEEE Internet Computing, Estados Unidos, 1998
- [101] Donald Hearn y Pauline Baker, Gráficos por Computadora con OpenGL, PEARSON-Prentice Hall 3ra edición, España, 2006.
- [104] Yale N. Patt, Sanjay J. Patel, Introducción a los sistemas de cómputo. De los bits y compuertas al c y más allá, McGraw Hill 2da edición, México, 2004.
- [105] Stroustrup Bjarne, El Lenguaje de Programación C++, Addison Wesley 1ra edición, España, 2002.
- [106] Levine Guillermo, Computación y programación moderna. Perspectiva integral de la informática, Addison Wesley 1ra edición, México, 2001.
- [107] Siler Brian y Spotts Jeff, Edición Especial. Visual Basic .NET, Prentice Hall 1ra edición, España, 2002.
- [108] Liberty Jesse y Horvath David B., Aprendiendo C++ para Linux, Prentice Hall 1ra edición, México, 2001.
- [109] Mano Morris M., Diseño Digital, Pearson. Prentice Hall 3ra edición, México, 2003.
- [110] Murdocca Miles J. y Heuring Vincent P., Principios de arquitectura de computadoras, Prentice Hall 3ra edición, Argentina, 2002.
- [111] Grimaldi Ralph P., Matemáticas discreta y combinatoria, Prentice Hall 3ra edición, México, 1998.
- [112] Grimes Galen A., Actualización y reparación de PCs, Prentice Hall 1ra edición, México, 2001.
- [113] Johnson Robert y Kuby Patricia, Estadística elemental, Thompson. Matemáticas, 2da edición, México, 1999.

- [114] Ullman Jeffrey D. y Widom Jennifer, Introducción a los sistemas de bases de datos, Prentice Hall Pearson, 1ra edición, México, 1999.
- [115] Equipo editorial INAH, México Antiguo, Secretaría de Educación Pública, 1ra edición, México, 1995.
- [116] Vasconcelos Santillán Jorge, Introducción a la computación, Publicaciones Cultural, 2da edición, México, 2002.
- [117] Deitel Harvey M. y Deitel Paul J, Cómo programar C/C++, Pearson. Prentice Hall, 4ta edición, México, 2004.
- [118] Bell Douglas y Parr Mike, Prentice Hall, Java para Estudiantes, 3ra edición, México, 2003.
- [119] Van Gelder Baase, Algoritmos computacionales. Introducción al análisis y diseño, Addison Wesley, 3ra edición, México, 2002.
- [120] Janal Daniel S., Marketing en Internet, Prentice Hall, 1ra edición, México, 2000.
- [121] Malvino Albert y Bates J. David, McGraw Hill, Principios de Electrónica, 7ma edición, España, 2007.
- [123] Samson Judith, Bars Jason y Releford Dallas, Prentice Hall, Aprendiendo Red Hat Linux, 1ra edición, México, 2001.

### **Sitios web consultados**

- [3]<http://blog.guiasenior.com/archives/2009/10/tecnologia-panorama-de-la-industria-ti.html>
- [5][http://www.conacyt.gob.mx/Acerca/Acerca\\_Introduccion.html](http://www.conacyt.gob.mx/Acerca/Acerca_Introduccion.html)
- [6][http://www.conacyt.mx/Comunicacion/Index\\_Comunicacion.html](http://www.conacyt.mx/Comunicacion/Index_Comunicacion.html)
- [7][http://www.cronica.com.mx/nota.php?id\\_nota=494532](http://www.cronica.com.mx/nota.php?id_nota=494532)
- [8][http://www.tamps.cinvestav.mx/lineas\\_de\\_investigacion](http://www.tamps.cinvestav.mx/lineas_de_investigacion)
- [9][http://www.manufacturaweb.com/nivel2.asp?cve=153\\_07](http://www.manufacturaweb.com/nivel2.asp?cve=153_07)
- [13]<http://www.tecnoinsumos.com.ar/imgprod/>
- [14]<http://www.instructables.com/file/FGZUSFROGPEYVZCK8Y/>
- [15][http://focus.ti.com/graphics/blockdiagram/blockdiagram\\_images/6176.gif](http://focus.ti.com/graphics/blockdiagram/blockdiagram_images/6176.gif)
- [16]<http://www.factorvista.com/Descripcion-del-Producto.html>
- [17]<http://www.factorvista.com/Llavero-Digital-FV-1.1Sw-Formulario-de-Compra.html>
- [18]<http://www.jugala.com/?tag=portarretratos-digital>
- [19]<http://www.euroscope.de/fernrohre.es.html>
- [21]<http://es.wikipedia.org/wiki/Telescopio>
- [22]<http://www.deepsky.com.mx/categorias.asp>
- [23]<http://www.kosmos.com.mx/fprod/scviewers.html>
- [24]<http://www.deepsky.com.mx/productos.asp?pcvmarca=%22panoramico%22&lnCveLinea>
- [25]<http://www.prismaticosparamiradores.com/es/productos.html>
- [26]<http://www.euroscope.de/fernrohre.es.html>
- [27]<http://www.depositcasinos.com/it/blog/wp-content/uploads/2009/05/351.jpg>
- [28]<http://www.slots2000.com/es/historia.php>
- [29]<http://en.wikipedia.org/wiki/Kinetoscope>
- [30]<http://bioscopic.files.wordpress.com/2007/06/kinetoscope2.jpg>
- [31]<http://indicelatino.com/juegos/historia/>
- [32]<http://indicelatino.com/juegos/historia/recreativas/>
- [33]<http://www.construyasuvideorockola.com/historia.php>
- [34]<http://inventors.about.com/od/weirdmuseums/ig/Photo-Gallery---Slot-Machines/>
- [38]<http://www.safersystems.co.uk/Images/Coinslot.gif>
- [39][http://www.simplyredback.com.au/imagesarcade/Mob\\_0422\\_086\\_542\\_coin.JPG](http://www.simplyredback.com.au/imagesarcade/Mob_0422_086_542_coin.JPG)
- [40]<http://www.devalvr.com/>
- [41]<http://www.robot-electronics.co.uk/hm/>
- [42], [82]<http://www.superrobotica.com/S320160.htm>

[43][http://2.bp.blogspot.com/\\_ycHwJEosotY/Sm5VUJs1jMI/AAAAAAAAA0M/zHG2MYIMJEE/s1600-h/Compass+Sensor+with+Microcontroller+Project+03.JPG](http://2.bp.blogspot.com/_ycHwJEosotY/Sm5VUJs1jMI/AAAAAAAAA0M/zHG2MYIMJEE/s1600-h/Compass+Sensor+with+Microcontroller+Project+03.JPG)

[44]<http://kudelsko.free.fr/boussole/presentation/KMZ51.jpg>

[46]<http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/066/imgs/f40p101.gif>

[49]<http://es.debugmodeon.com/articulo/programacion-de-sistemas-empotrados>

[50]<http://www.cs.cinvestav.mx/Posgrado/Cursos/SistemasEmpot.html>

[51][http://en.wikipedia.org/wiki/Political\\_status\\_of\\_Taiwan](http://en.wikipedia.org/wiki/Political_status_of_Taiwan)

[53][http://www.ergoindemand/about\\_VESA\\_standard.htm](http://www.ergoindemand/about_VESA_standard.htm)

[54]<http://es.wikipedia.org/wiki/EIDE>

[55]<http://www.steren.com/productos/>

[57]<http://es.wikipedia.org/wiki/Potenci%C3%B3metro>

[58]<http://compean.mx.tripod.com/Archivos/Potenciometro.htm>

[59][http://www.unicrom.com/tut\\_glosarioelectronicaT.asp](http://www.unicrom.com/tut_glosarioelectronicaT.asp)

[60]<http://www.comtro.com/potenciometros.htm>

[61]<http://www.directindustry.es/prod/inelta-sensorsysteme/potenciometro-motorizado-61542-394205.html>

[62]<http://www.forosdeelectronica.com/f27/potenciometro-vuelta-360-reales-resistencia-13518/>

[63][http://www.proyectosalohogar.com/el\\_porque\\_de\\_las\\_cosas/Historia\\_de\\_la\\_brujula.htm](http://www.proyectosalohogar.com/el_porque_de_las_cosas/Historia_de_la_brujula.htm)

[64]<http://www.awco.org/Chronometers/ModernCompass/Action.jpg>

[67]<http://www.unav.es/acienciacierta/extras/CampoMagnetico.png>

[68][http://www.bicimapas.com.mx/images/zonas\\_brujulas.gif](http://www.bicimapas.com.mx/images/zonas_brujulas.gif)

[69]<http://www.forosdeelectronica.com/f27/potenciometro-vuelta-360-reales-resistencia-13518/>

[70][http://es.wikipedia.org/wiki/Codificador\\_rotatorio](http://es.wikipedia.org/wiki/Codificador_rotatorio)

[71]<http://www.eehomepage.com/reports/EncoderDiagrams/MouseEncoder.jpg>

[73][http://es.wikipedia.org/wiki/Diodo\\_org%C3%A1nico\\_de\\_emisi%C3%B3n\\_de\\_luz](http://es.wikipedia.org/wiki/Diodo_org%C3%A1nico_de_emisi%C3%B3n_de_luz)

[74]<http://www.4dsystems.com.au/prod.php?id=31>

[76]<http://www.xenarcdirect.com/product.php?productid=16144>

[77]<http://www.maquinitas.com.mx/accesorios.html>

[78]<http://www.maquinitas.com.mx/multijuego.html>

[79][http://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-43790940-monedero-metalico-en-super-oferta-90-pesos-\\_JM](http://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-43790940-monedero-metalico-en-super-oferta-90-pesos-_JM)

[80][http://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-44835048-interface-usb-para-monedero-y-billetero-electronico-\\_JM](http://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-44835048-interface-usb-para-monedero-y-billetero-electronico-_JM)

[83]<http://es.debugmodeon.com/articulo/programacion-de-sistemas-empotrados>

[84][http://es.wikipedia.org/wiki/Lenguaje\\_de\\_programaci%C3%B3n\\_C#Aplicaciones\\_embebidas](http://es.wikipedia.org/wiki/Lenguaje_de_programaci%C3%B3n_C#Aplicaciones_embebidas)

[85][http://es.wikipedia.org/wiki/Lenguaje\\_de\\_programacion\\_JavaEn\\_dispositivos\\_moviles\\_y\\_sistemas\\_empotrados](http://es.wikipedia.org/wiki/Lenguaje_de_programacion_JavaEn_dispositivos_moviles_y_sistemas_empotrados)

[86]<http://www.superrobotica.com/S310425.htm>

[87]<http://www.tga.es/ProdInggel/osembedded.htm>

[88][http://es.wikipedia.org/wiki/Linux\\_empotrado](http://es.wikipedia.org/wiki/Linux_empotrado)

[89]<http://www.ubuntu-ve.org/node/1497>

[90]<http://ftp.debian.org/debian/dists/etch-proposed-updates/>

[91]<http://www.linuxforums.org/forum/peripherals-hardware/126227-what-cmov.html>

[92]<http://www.debian.org>

[93]<http://www.desktoplinux.com/news/NS8547892609.html>

[94]<http://www.espaciolinux.com/2007/04/descarga-tu-debian-etch-4/>

[96]<http://www.forosdeelectronica.com/f26/conversor-ttl-rs232-viceversa-19938/>

[97]<http://www.somekindofpaper.info/articles/2009/04/22/simple-ttl-to-rs232-adapter-using-bipolar-transistors.html>

[99]<http://www.embeddedrelated.com/usenet/embedded/show/59706-1.php>

[102]<http://cs.gmu.edu/~eclab/projects/robots/flockbots/pmwiki.php?n=Main.Brainstem>

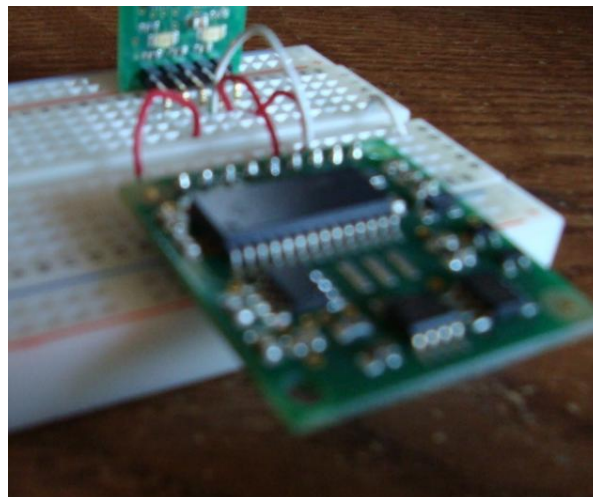
[103][http://en.wikipedia.org/wiki/Ray\\_tracing\\_\(graphics\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Ray_tracing_(graphics))

[122]<http://www.hispazone.com/Articulo/478/3/Como-combatir-las-interferencias-electromagneticas-de-nuestro-ordenador-Como-evitar-las-interferencias.html>

## Anexos fotográficos



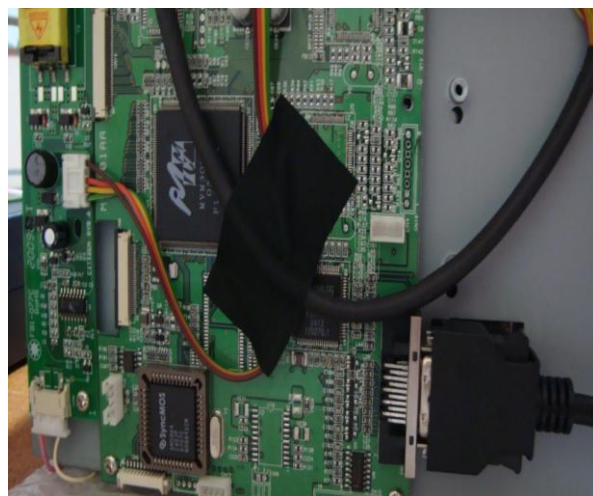
Coin selector o monedero electrónico



Interfaz USB-I2C con brújula digital



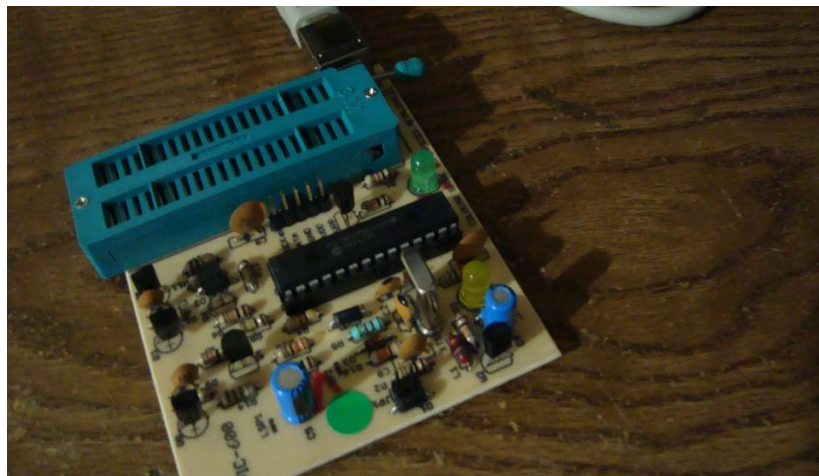
Sistema TQ-43



Parte posterior del monitor



Compact Flash (disco duro del sistema)



Programador del microcontrolador



Lector externo de discos compactos (para configurar el sistema)