

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

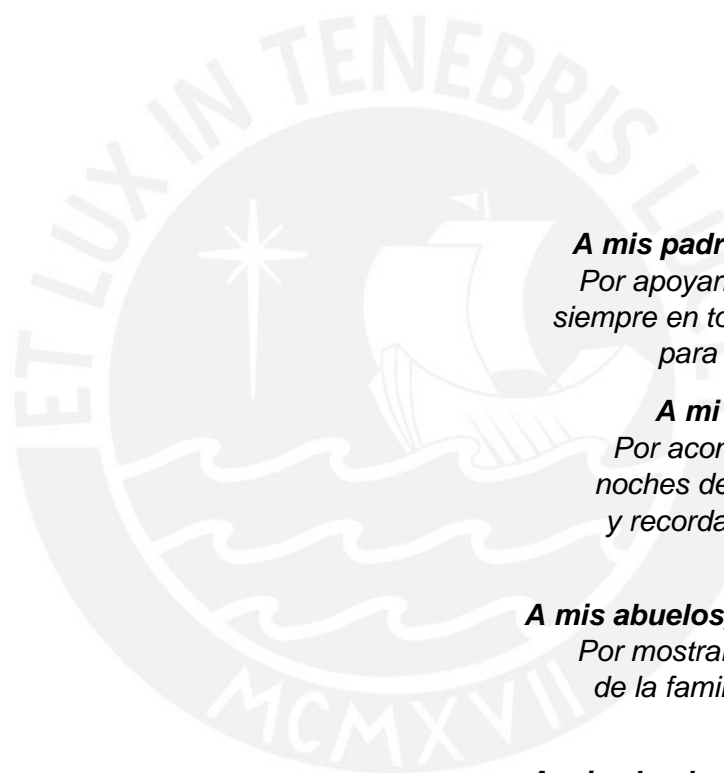
**DISEÑO DE ROBOT PARA TOMA DE SANGRE Y ROTULADO
DE MUESTRAS EN HOSPITALES**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecatrónico, que presenta el bachiller:

Jorge Antonio Alejandro Gutierrez Zamudio

ASESOR: Jhon Manuel Portella Delgado

Lima, febrero del 2019



A mis padres, Jorge y Silvia

*Por apoyarme y aconsejarme
siempre en todo lo posible para
para cumplir mis metas*

A mi hermano Alfredo

*Por acompañarme durante
noches de estudio y trabajo,
y recordarme que solo falta
“un poco más”*

A mis abuelos, Antonio y Dalila

*Por mostrarme la importancia
de la familia y cómo afrontar
la vida juntos*

A mis abuelos, Ismael y Marina

*Por criarme como un hijo
y apoyarme siempre en
mis decisiones*

A mi mascota Fast

*Por siempre recibirme con la
mayor alegría que puede dar
un perrito incondicionalmente,
que en paz descansa*

A todos mis amigos

*Por ser mis amigos por
quien soy y ayudarme a
crecer como persona en
el día a día*

RESUMEN

La toma de muestras de sangre es un proceso que se ha quedado relativamente estancado en el aspecto tecnológico en comparación a otros procedimientos médicos tales como para cirugías o procesamientos de imágenes (resonancia magnética, radiografías, entre otras). El éxito de una venopunción recae completamente en la habilidad y experiencia del tecnólogo médico. Incluso los más experimentados pueden fallar resultando en la incomodidad, daño y dolor provocado al paciente.

A fin de solventar este problema, se ha diseñado en el presente trabajo una propuesta para una realización precisa y exacta del procedimiento de punción de las venas, mediante el uso de actuadores en sistemas que ofrezcan una resolución adecuada y el uso de sensores que permitan una captura y procesamiento de imágenes adecuada. Además, otro aspecto que se le agrega al diseño será el rotulado de las muestras obtenidas, dado que en la actualidad aún se generan confusiones por intercambio de muestras, lo cual solo perjudica aún más al paciente.

El resultado es un robot con múltiples grados de libertad y diversos subsistemas con sus correspondientes actuadores y sensores. Estos subsistemas son: de punción, de almacenamiento de tubos y de rotulado. Esta división en subsistemas se da, ya que se requerirá que el sistema realice varias funciones con el fin de obtener las muestras rotuladas.



**TEMA DE TESIS PARA OPTAR
EL TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO**

Título : Diseño de robot para toma de sangre y rotulado de muestras en hospitales
Asesor : Jhon Portella Delgado
Co-asesor :
Propuesto por : Jhon Portella Delgado
Alumno : Jorge Antonio Alejandro Gutierrez Zamudio
Código : 20120323
Tema N° : # 224
Fecha : 09/07/2018



Descripción y Objetivos

Hoy en día, miles de personas asisten a un centro médico, tanto clínicas como hospitales, en busca de algún tratamiento para los cuales se deben realizar diversas pruebas. Entre las más comunes está la toma de muestra de sangre en los laboratorios, ya que a partir de los datos obtenidos de estas los médicos pueden hacer diagnósticos más precisos y atender mejor a los pacientes. En el caso de Perú, la realidad es que existe un ineficiente sistema de atención a los pacientes en los hospitales públicos, ya que se visualizan largas colas de personas tan solo para realizarse las pruebas más básicas como la mencionada.

Otro problema que se presenta para el paciente es la experiencia y habilidad del tecnólogo médico que lo atiende. Esto significa que la correcta extracción de sangre depende de la precisión y estabilidad manual que tenga el técnico, además de su capacidad visual para inspeccionar el brazo del paciente y encontrar en punto de punción, por lo que puede haber casos en que se falle la prueba en el primer intento.

Por ello, se propone el diseño de un robot capaz de tomar muestras de sangre y rotularlas a fin de aumentar la velocidad en la que se atienden a los pacientes que se realicen esta prueba y no se generen largas colas. El robot debe ser capaz de:

- Sujetar el tubo con la aguja desde el un sistema de almacenamiento.
- Detectar la ubicación de las venas del brazo del paciente.
- Detectar la profundidad de la vena desde la piel (la cual varía de paciente en paciente).
- Insertar en el ángulo adecuado la aguja y extraer el volumen necesario de sangre del paciente, retirar la aguja y cambiar de herramienta a para presionar el punto de inserción con un trozo de algodón.
- Rotular tal muestra con una etiqueta que contenga los datos del paciente y los datos de las pruebas que se realizaron en laboratorio y finalmente devolver la muestra al contenedor. *Máximo : 100 páginas*



[Signature]

[Signature]

Índice

Índice de Tablas.....	iv
Índice de Figuras.....	vi
Capítulo 1	1
Comprensión de la problemática	1
Estado del arte	4
1.1 Sistema de tubo al vacío.....	6
1.2 AccuVein AV400.....	7
1.3 VenousPro.....	8
1.4 Veebot.....	9
1.5 Equipo de ecografía.....	11
1.6 Cámara infrarroja.....	13
Capítulo 2	16
Requerimientos del sistema y presentación del concepto	16
2.1 Requerimientos del sistema mecatrónico	16
2.1.1 Requerimientos Mecánicos.....	16
2.1.2 Requerimientos Eléctricos y Electrónicos	17
2.1.3 Requerimientos de Control	17
2.2 Estructura de Funciones	21
2.2.1 Caja Negra	21
2.2.2 Diagrama de Bloques de Estructura de Funciones	21
2.3 Matriz morfológica	23
2.3.1 Dominio Mecánico	23
2.3.2 Dominio Eléctrico/Electrónico	24
2.3.3 Dominio de control.....	25
2.4 Conceptos Solución General	26
2.4.1 Concepto Solución 1.....	26
2.4.2 Concepto Solución 2.....	30
2.4.3 Concepto Solución 3.....	33
2.5 Evaluación de Conceptos Solución.....	36
Capítulo 3	38
Diseño del concepto solución óptimo	38
3.1 Dimensionamiento General	38

3.2 Diagrama de Bloques	39
3.3 Diagrama de Flujo	40
3.4 Diagrama de bloques de control.....	43
3.5 Memoria de cálculo	44
3.5.1 Cálculo de sistema husillo del sentido de la punción.....	44
3.5.2 Cálculo mesa giratoria	47
3.5.3 Cálculo unión por pines a base rotatoria	50
3.5.4 Cálculo mesa basculante	51
3.5.5 Calculo para movimiento eje x	53
3.5.6 Cálculo para brazo de sujeción	54
3.5.7 Cálculo unión por chaveta.....	56
3.5.8 Cálculo de unión soldada.....	59
3.5.9 Análisis de resistencia de mesa base por MEF	61
3.6 Selección de materiales y componentes.....	63
3.6.1 Materiales de fabricación	63
3.6.2 Actuadores.....	65
3.6.3 Sensores	70
3.7 Planos	80
3.8 Esquemáticos	84
Capítulo 4	85
4.1 Costo de componentes	85
4.2 Costo de manufactura	86
Capítulo 5	88
Bibliografía.....	90

Índice de Tablas

Tabla 2.1 Lista de exigencias	20
Tabla 2.2 Matriz morfológica del dominio mecánico	23
Tabla 2.3 Matriz morfológica del dominio eléctrico/electrónico	24
Tabla 2.4 Matriz morfológica del dominio de control	25
Tabla 2.5 Evaluación de aspectos técnicos y económicos	36
Tabla 2.6 Evaluación según valores técnicos	36
Tabla 2.7 Evaluación según valores económicos	37
Tabla 3.1 Tabla para selección de chaveta según DIN 6885	57
Tabla 3.2 Factor de carga estática en elementos de máquina	59
Tabla 3.3 Factor de la calidad de la soldadura	59
Tabla 3.4 Especificaciones AISI 304	63
Tabla 3.5 Especificaciones PLA	64
Tabla 3.6 Especificaciones NEMA 34	65
Tabla 3.7 Especificaciones generales driver VNH5019	65
Tabla 3.8 Especificaciones NEMA 17	66
Tabla 3.9 Especificaciones eléctricas driver A4988	67
Tabla 3.10 Especificaciones servomotor MG995	68
Tabla 3.11 Especificaciones servomotor SG90	68
Tabla 3.12 Especificaciones actuador lineal PQ12	69
Tabla 3.13 Especificaciones driver LAC board	69
Tabla 3.14 Resolución en puntos por pulgada según distancia	70
Tabla 3.15 Especificaciones sobre imagen del FLiR Dev Kit	73
Tabla 3.16 Especificaciones eléctricas del FLiR Dev Kit	73
Tabla 3.17 Especificaciones CNY70	75
Tabla 3.18 Especificaciones FSR-406	76

Tabla 4.1 Costo de componentes electrónicos	85
Tabla 4.2 Costo de componentes mecánicos	86
Tabla 4.3 Costo de manufactura	87
Tabla 4.4 Resumen de costos	87



Índice de Figuras

Figura 1.1 Colas en laboratorio San Fernando	1
Figura 1.2 Técnico realizando la toma de sangre	2
Figura 1.3 Formación de un hematoma	3
Figura 1.4 Flebitis	3
Figura 1.5 Tipos de tubo al vacío	3
Figura 1.6 Sistema de rotulación de muestras	4
Figura 1.7 Etiqueta de identificación de la muestra	4
Figura 1.8 Anatomía de la fosa cubital	5
Figura 1.9 Sección del codo	6
Figura 1.10 Partes del sistema de tubo al vacío	6
Figura 1.11 Sistema de tubo al vacío	6
Figura 1.12 Accuvein AV400	7
Figura 1.13 VenousPro	8
Figura 1.14 Veebot	10
Figura 1.15 Ecografía a color doppler	12
Figura 1.16 Tipos de transductores	12
Figura 1.17 Cámaras infrarrojas compactas	13
Figura 2.1 Caja negra del robot de toma y rotulado de sangre	21
Figura 2.2 Estructura de funciones	22
Figura 2.3 Concepto solución 1	29
Figura 2.4 Concepto solución 2	32
Figura 2.5 Concepto solución 3	35
Figura 2.6 Diagrama de evaluación según VDI 2225	37
Figura 3.1 Dimensionamiento general del sistema	38
Figura 3.2 Diagrama de bloques	39

Figura 3.3 Diagrama de flujo (parte 1)	40
Figura 3.4 Diagrama de flujo (parte 2)	41
Figura 3.5 Diagrama de flujo (parte 3)	42
Figura 3.6 Diagrama de bloques de control	43
Figura 3.7 Modelo para cálculo de sistema de punción	44
Figura 3.8 Modelo para cálculo de mesa giratoria	47
Figura 3.9 Modelo para cálculo de mesa basculante	51
Figura 3.10 Modelo para cálculo de avance en eje x	53
Figura 3.11 Modelo para cálculo de brazo de sujeción	54
Figura 3.12 Modelo para cálculo de unión por chaveta	57
Figura 3.13 Modelo para cálculo de unión soldada	59
Figura 3.14 Mesa base	62
Figura 3.15 Análisis de esfuerzo de Von Mises	62
Figura 3.16 Análisis de deformación	63
Figura 3.17 NEMA 34	66
Figura 3.18 Driver VNH5019	66
Figura 3.19 NEMA 17	67
Figura 3.20 Driver A4988	67
Figura 3.21 Servomotor MG995	68
Figura 3.22 Servomotor SG90	68
Figura 3.23 Actuador lineal PQ12	69
Figura 3.24 Cámara Raspberry Pi V2	70
Figura 3.25 Cámara FLiR Dev Kit	70
Figura 3.26 Sensor capacitivo LJC30A3-H-Z/BX	73
Figura 3.27 Limit Switch D2F-L	75
Figura 3.28 Sensor óptico infrarrojo CNY70	75

Figura 3.29 Sensor de presión FSR-406	76
Figura 3.30 Fuente switching 12V 15A	77
Figura 3.31 Fuente switching 5V 3A	78
Figura 3.32 Especificaciones generales Raspberry Pi 3	78
Figura 3.33 Tarjeta Raspberry Pi 3	79
Figura 3.34 Tarjeta Tiva Launchpad TM4C123GX	79



Capítulo 1

Comprensión de la problemática

Hoy en día, miles de personas asisten a un centro médico, tanto clínicas como hospitales, en busca de algún tratamiento para los cuales se deben realizar diversas pruebas. Entre las más comunes está la toma de muestra de sangre en los laboratorios, ya que a partir de los datos obtenidos de estas los médicos pueden hacer diagnósticos más precisos y atender mejor a los pacientes.

En el caso de Perú, la realidad es que existe un ineficiente sistema de atención a los pacientes en los hospitales públicos, ya que se visualizan largas colas de personas (figura 1.1) tan solo para realizarse las pruebas básicas como las mencionadas anteriormente.



Figura 1.1. Colas en el laboratorio San Fernando del Hospital Nacional Arzobispo Loayza

El proceso que realiza una persona para que se le tome una prueba sanguínea es el siguiente:

1. Cancelar monto por las pruebas solicitadas por el médico (inmunología, bioquímica, etc).
2. Solicitar que se tome la muestra de sangre en recepción.
3. Una vez que se le llame al paciente, ingresa al área de toma de muestras para que un tecnólogo realice la toma de muestras.
4. Retornar en la fecha que se le indique por los resultados (variará el número de días según las pruebas solicitadas.)

Tras la cancelación del monto y solicitud de las pruebas necesarias, una persona puede estar en la sala de espera en el mejor de los casos 5 minutos en un fin de semana sin muchas personas, y en el peor, más de media hora en un día de semana laboral.

Otro problema que se presenta para el paciente es la experiencia y habilidad del tecnólogo médico que lo atiende. Esto significa que la correcta extracción de sangre depende de la precisión y habilidad manual que tenga el tecnólogo, además de su capacidad visual para inspeccionar el brazo del paciente y encontrar en punto de punción, por lo que puede haber casos en que se falle la prueba en el primer intento.



Figura 1.2. Técnico realizando la toma de sangre

En promedio, un técnico experimentado puede tardar en realizar la toma de la muestra de sangre de minuto y medio a dos minutos, y en un día laboral, un tecnólogo puede fallar entre 1 a 5 punciones debido a la inserción de la aguja en bifurcaciones o válvulas de las venas, por venas corridas o porque simplemente es difícil visualizar las venas del paciente. En el caso de atravesar la vena o realizar la punción en el músculo, se provocará una equimosis, una pequeña lesión originada por transvasación subcutánea de la sangre, o hasta un hematoma (ver figura 1.3) si se acumula la sangre en la zona de la punción provocándole dolor al paciente, y excepcionalmente podría producirse flebitis (ver figura 1.4) que es una infección localizada en la zona de punción.



Figura 1.3. Formación de un hematoma



Figura 1.4. Flebitis

Además, también existe el riesgo que, por negligencia del tecnólogo, sea por cansancio o alguna distracción, se haya rotulado incorrectamente la muestra de un paciente y por ello se realicen las pruebas incorrectas al seleccionar el tubo al vacío incorrecto o hasta termine confundiéndose con la de otro paciente, lo que lleva a resultados adversos para ambas partes.



Figura 1.5. Tipos de tubos al vacío de acuerdo a sus aditivos



Figura 1.6. Sistema de rotulación de las muestras



Figura 1.7. Etiqueta de identificación de la muestra

Por ello, se propone el diseño de un robot el cual tenga la capacidad de tomar muestras de sangre y rotularlas a fin de aumentar la velocidad en la que se atienden a los pacientes que se realicen esta prueba y no se generen largas colas. El robot debe sujetar el tubo con la aguja desde un sistema de almacenamiento, tener los sensores necesarios para detectar la ubicación de las venas del brazo del paciente, y además detectar la profundidad de la vena desde la piel (la cual varía de paciente en paciente), insertar en el ángulo adecuado la aguja y extraer el volumen necesario de sangre del paciente, retirar la aguja y cambiar de herramienta para presionar el punto de inserción con un trozo de algodón, rotular la muestra obtenida con una etiqueta que contenga los datos del paciente y finalmente devolver la muestra al sistema de almacenamiento.

Estado del arte

En el presente capítulo, se explicarán de forma concisa algunas nociones sobre el sistema vascular, específicamente del brazo donde se tomarán las muestras de sangre. Además, se

presentarán algunas tecnologías ya presentes, como el sistema de tubo al vacío, y otras en desarrollo, como dispositivos médicos para la toma de muestras de sangre.

La anatomía del ser humano siempre ha sido compleja, y si se visualiza algo tan complejo como su sistema vascular (ver figura 1.8 y 1.9), podemos ver que este, además de tener numerosas bifurcaciones, puede tener dimensiones muy pequeñas. En el caso del sistema vascular, la vena más grande se encuentra en el corazón siendo la vena cava superior, que tiene un diámetro aproximado de 25mm, mientras que las más pequeñas que se encuentran en las ramas pueden ser hasta de 0.1mm. En el caso de las venas que se encuentran en el antebrazo anterior y el codo, los diámetros se encuentran entre los 2 – 4mm, y es por estas diminutas dimensiones que aún los tecnólogos de medicina más experimentados pueden llegar a fallar en el caso de las tomas de muestras de sangre. Por lo general, el tecnólogo toma la muestra a partir de la vena más visible a través de la piel, que suele ser la vena mediana del codo o alguna de las venas del antebrazo (ver figura 1.9).

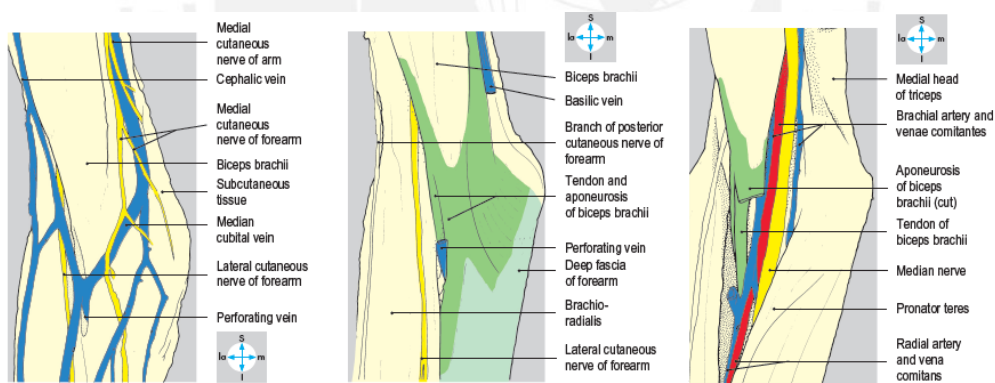


Figura 1.8. Anatomía de la fosa cubital

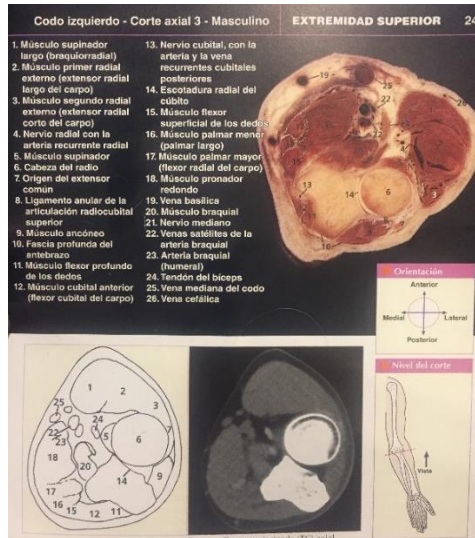


Figura 1.9. Sección del codo

Para realizar la extracción de la sangre, uno de los métodos más populares para la toma de muestras es utilizando el sistema del tubo al vacío.

1.1 Sistema de tubo al vacío

Este sistema consta de tres partes. En la figura 1.10, en el lado izquierdo tenemos la aguja, la cual se enrosca en el portaguijas del medio, y posteriormente se inserta al tubo al vacío que se puede ver al lado derecho el cual por la diferencia de presión absorbe fluidos apenas se acopla al portaguijas.



Figura 1.10. Partes del sistema de tubo al vacío



Figura 1.11. Sistema de tubo al vacío

Cabe resaltar que algunos de los dispositivos en la actualidad que pueden tomar muestras de sangre como los que se mencionarán más adelante utilizan este sistema para la extracción de sangre.

Actualmente existen dispositivos diseñados con especificaciones para ayudar o realizar la tarea mencionada. Por un lado, hay casos de dispositivos de asistencia médica que mediante procesamiento de imágenes son capaces de identificar las venas de un paciente de forma no invasiva. Por otra parte, también existen dispositivos que ya cuentan con un método propio de reconocimiento y son capaces de extraer muestras de sangre de una forma más eficiente y segura, descartando posibles fallas por parte de un tecnólogo al tomar las muestras ya sea por insertar de manera temblorosa la aguja o por dificultad de encontrar la vena de algunos pacientes.

A continuación, se muestran algunos ejemplos de los dispositivos mencionados.

1.2 AccuVein AV400

Este dispositivo permite visualizar digitalmente un mapa vascular en la superficie de la piel donde se realiza en tiempo real lo que permite al tecnólogo médico verificar la permeabilidad de la vena y evitar así bifurcaciones. El dispositivo no requiere calibración, puede apuntar a la piel desde múltiples direcciones, y puede detectar venas hasta 10mm de profundidad.



Figura 1.12. Accuvein AV400

Especificaciones:

- Portátil y ligero, con un peso de 9.7 onzas
- Proyección digital del patrón de venas con modo universal e invertido
- Batería instalada con plataforma de carga

1.3 VenousPro

Una propuesta es de VenousPro™ del grupo Vascologic, el cual, según su sitio web, es un dispositivo médico el cual es capaz de tomar sangre y colocar un catéter de forma segura, precisa y consistente.

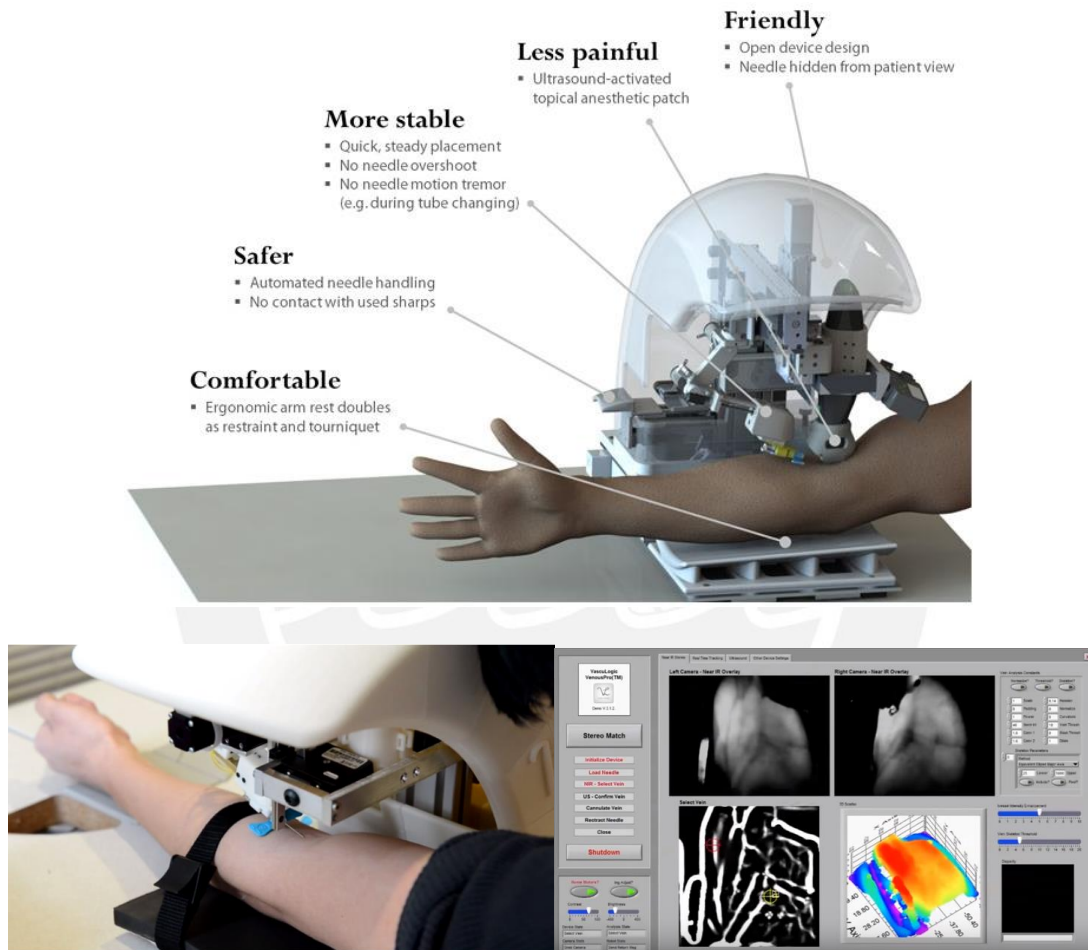


Figura 1.13. VenousPro™

Esta propuesta permite al tecnólogo controlar el dispositivo mediante una interfaz intuitiva y con una pantalla táctil. El software diseñado puede tomar un video en tiempo real el cual mediante procesamiento de imágenes infrarrojas y de ultrasonido permite seleccionar los puntos adecuados para la inserción de la aguja. Con la guía en tiempo real del sistema de procesamiento de imágenes, se inserta mediante un sistema robotizado la aguja en el lugar seleccionado.

1.4 Veebot

Otra propuesta es el robot Veebot de la organización Veebot LLC Automated Venipuncture Solutions, la cual establece que procedimientos basados en inserción de agujas los cuales han sido relegados en comparación con otros procedimientos médicos. Además, explica que existen miles de eventos adversos que se dan por muestras mal etiquetadas.

Por ello, indica que hay una fuerte necesidad de mayor precisión, una mejor experiencia para el paciente y reducir los riesgos a la salud. Su misión es automatizar todo el proceso de venopunción para reducir el error y reducir la cantidad de punciones. De esta manera, se ahorra dinero en clínicas y hospitales, se reduce el riesgo de heridas por parte de los practicantes, y mejora el comfort y cuidado de los pacientes.

Esta propuesta indica el siguiente procedimiento para su funcionamiento:

1. El tecnólogo interactúa con una interfaz táctil y controla el dispositivo.
2. Procesamiento de imágenes infrarrojas y ultrasonido son utilizados para sugerir potenciales puntos de punción.
3. Tras seleccionar un punto objetivo, este se rastrea y localiza en tiempo real para prevenir muchos movimientos por parte del paciente.
4. Imágenes de un ultrasonido doppler se usan para verificar que el punto seleccionado de la vena es adecuado y calcular la profundidad de la punción.
5. El robot inmoviliza la vena para evitar que esta se corra.
6. Mediante la guía de la imagen ultrasónica, la aguja se inserta de forma precisa a la vena.
7. Una vez completado el procedimiento, la muestra es etiquetada y la aguja desechada de forma segura por el sistema.

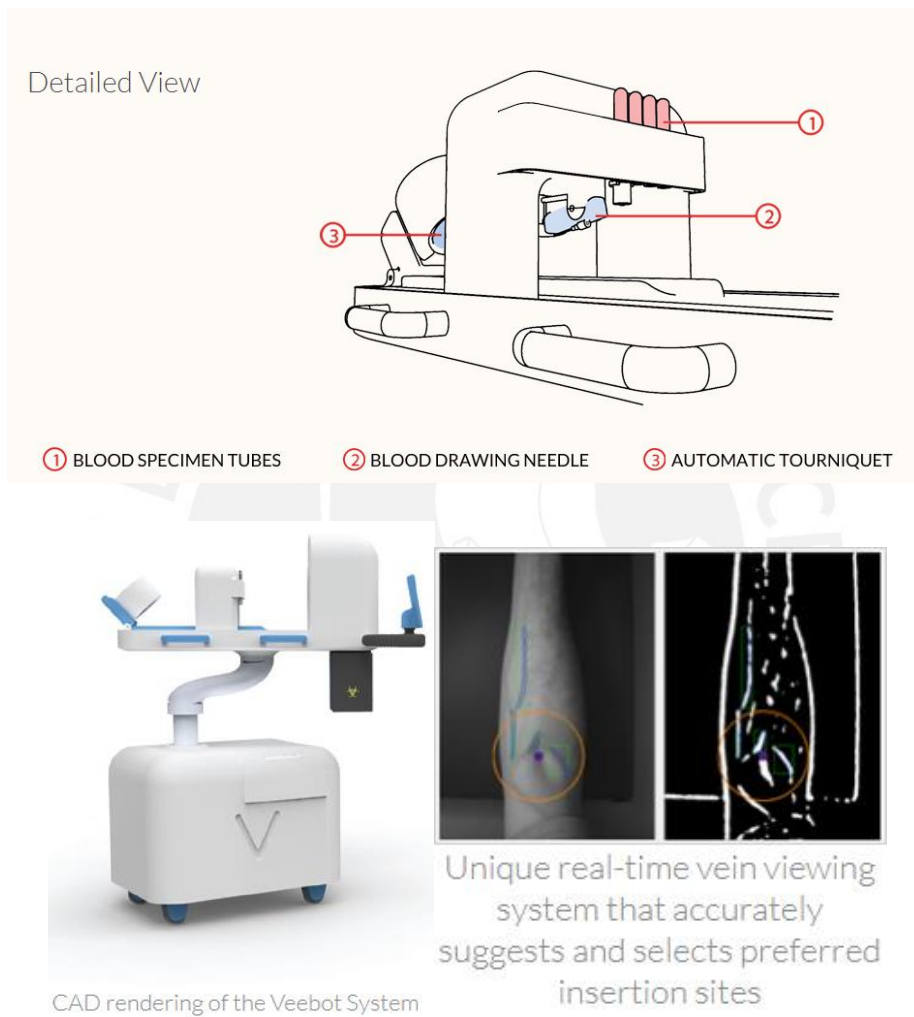


Figura 1.14. Veebot

Especificaciones:

- Mapeo vascular con acercamiento de imágenes infrarrojas y guía de ultrasonido
- Planeamiento en tiempo real del procedimiento con aguja
- Control de movimiento y automatización de sistema robótico controlado
- Procedimiento con aguja seguro:
 - Diseño basado en cartuchos

- Carga y descarga automática de la aguja
- Procedimiento indoloro:
 - Gel de ultrasonido con anestésico tópico
 - La sonoféresis incrementa la absorción del tópico
- Sistema inteligente: reconoce anatomía vascular del paciente
- Etiquetado automático de frascos

1.5 Equipo de ecografía

El uso de técnicas de ecografía surgió originalmente entre los especialistas en radiología, sin embargo, a lo largo de los años su evolución y generalización dio lugar a su uso en diversas especialidades médicas, tales como cardiología, ginecología, reumatología, entre otros.

Estos avances en el campo médico son gracias al uso de ondas de ultrasonido, que reciben el nombre al ser frecuencias de orden mayor al que puede ser captado por el oído humano, siendo el límite en aproximadamente 20 000Hz. En el caso de las imágenes médicas que se obtienen, el rango de la frecuencia que se utiliza en el cuerpo humano se encuentra entre los 3-15 MHz. A mayor frecuencia mayor calidad de imagen, pero menor penetración.

Un tipo de ecografía especial para el estudio del flujo sanguíneo es la ecografía Doppler, también denominado ultraecografía a color Doppler, la cual permite estudiar aspectos como la velocidad de circulación de la sangre en diversas zonas del cuerpo, tanto en brazos, piernas, abdomen, entre otros.

Existen tres tipos de técnica para la ecografía Doppler:

- Doppler a color: Utiliza una computadora para convertir las mediciones obtenidas en un conjunto de colores para mostrar la velocidad y dirección del flujo sanguíneo
- Doppler con energía: Brinda a mayor detalle el flujo sanguíneo que el Doppler a color, especialmente en vasos sanguíneos dentro de órganos, sin embargo, no determina la dirección del flujo

- Doppler espectral: Muestra gráficamente las mediciones del flujo sanguíneo en función de la distancia recorrida por unidad de tiempo.



Figura 1.15. Ecografía a color Doppler

El funcionamiento se logra utilizando un transductor especial, el cual es un aparato que transforma la energía eléctrica a energía acústica. Esto se debe al efecto piezoeléctrico, propiedad que permite que cristales especiales al recibir impulsos eléctricos se contraen o dilatan, lo cual genera los pulsos acústicos.

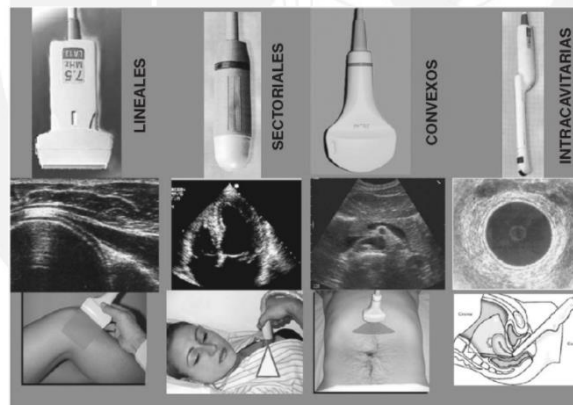


Figura 1.16. Tipos de transductores

Así como existen diferentes técnicas de mapeo mediante ultrasonido, existen distintos tipos de transductores los cuales según el tipo se pueden visualizar diferentes partes internas del cuerpo humano que se encuentran a diferentes profundidades, dependiendo de la parte de interés, como pueden ser órganos, tejido muscular, sistema vascular, entre otros. Estos internamente están formados por pequeños grupos de cristales que se estimulan de forma conjunta, y actualmente según la disposición de estos existen cuatro tipos:

- Sectorial: Proporcionan una imagen triangular o en abanico, se utilizan exploraciones cardiacas y abdominales ya que permiten un abordaje desde el costado. Se utilizan para visualizar estructuras profundas. Su rango de trabajo suele ser de entre 3.5 – 5 MHz.
- Convexos: Tienen forma curva y proporcionan una imagen en forma de trapecio. Sirven para exploración abdominal y obstétrica. También se utilizan para visualizar estructuras profundas. Su frecuencia suele ser de trabajo también suele ser de 3.5 – 5 MHz.
- Lineales: Tienen una superficie recta y proporcionan una imagen rectangular, para visualizar zonas más superficiales como músculos, tendones, vasos sanguíneos, entre otros. Su frecuencia de trabajo suele estar entre los 7.5 – 13 MHz, aunque también hay de 20MHz.
- Intracavitarios: Pueden tener el formato convexo o lineal, y sirven para exploraciones intrarrectales o intravaginales. Su frecuencia de trabajo está entre 5 – 7.5 MHz

Para este caso, se requiere de un transductor capaz de detectar el sistema vascular, es decir, una profundidad desde la superficie de la piel no mayor a 40mm. Para ello, se utiliza un transductor lineal.

1.6 Cámara infrarroja

Al simple ojo humano, existen casos en que es difícil visualizar las venas de algunos pacientes. Además, se debe considerar que los técnicos encargados de tomar las muestras tienen práctica y saben localizar con mayor facilidad las venas de una persona promedio, y aun así existen casos en que se les dificulta la tarea. Por ello, una opción para su detección es el uso de cámaras infrarrojas.



Figura 1.17. Cámaras infrarrojas compactas

Este dispositivo trabaja captando imágenes del espectro infrarrojo, el cual se encuentra en un rango de luz que no podemos percibir a simple vista. Nos muestra cuanto calor tiene algún objeto, es decir, los objetos que irradian mayor calor sobresalen en las imágenes captadas. Por ello es que se visualiza con mayor facilidad las venas, ya que la sangre que fluye entre 5-10mm debajo de la epidermis (capa externa de la piel) se encuentra a mayor temperatura que la piel misma. Otra razón es que dentro de la sangre los glóbulos rojos contienen una sustancia denominada desoxihemoglobina cuyos enlaces intermoleculares permiten su visualización en el espectro infrarrojo.

Existen dos tipos básicos, las cámaras infrarrojas refrigeradas y las no refrigeradas:

- Refrigeradas: utilizan semiconductores exóticos que se encuentran al vacío y refrigerados, lo cual aumenta la sensibilidad.
- No refrigerados: funcionan a temperatura ambiente, más comunes y baratos, con materiales como silicio amorfo y óxido de vanadio.

Con lo anterior mencionado, cabe resaltar que hay diferentes clasificaciones, según tipo de detector y según el origen de la radiación:

Según el tipo de detector:

- Con detectores criogénicos: contenidos en un recipiente sellado al vacío (contenedor Dewar) y enfriados por debajo de 0°C con un equipo criogénico, lo cual aumenta enormemente la sensibilidad, sin embargo, es costoso, consume mucha energía y requiere tiempo de enfriamiento.

- Con detectores al ambiente: operan a temperatura ambiente, con los más modernos usando sensores que funcionan cambiando propiedades eléctricas del material del cuerpo emisor tales como corriente, voltaje, resistencia, entre otras. Estas propiedades son medidas y comparadas a los valores de temperatura de operación del sensor, el cual puede estabilizarse a una temperatura de operación por encima de los 0°C para reducir interferencias de percepción de imagen.

Según origen de radiación:

- Activas: Emiten radiación infrarroja con un reflector integrado a la cámara o ubicado en otro sitio, con el haz infrarrojo alumbrando el cuerpo el cual emite también un alumbramiento el cual es detectado por la cámara y se interpreta como una imagen monocromática. Un filtro evita que la cámara detecte la luz visible.
- Pasivas: También llamadas cámaras termográficas, estas carecen de reflectores, y emiten la radiación infrarroja tal cual es emitida por un cuerpo. Son las más comunes.

Capítulo 2

Requerimientos del sistema y presentación del concepto

2.1 Requerimientos del sistema mecatrónico

Como se pudo apreciar en el capítulo anterior, el presente diseño requiere de varias funciones y movimientos, además de tomar en cuenta aspectos como cuál será su ambiente de trabajo (hospitales), por lo que aquí se presentan los requerimientos tanto mecánicos, electrónicos y de control que necesitará.

El sistema propuesto deberá tener las siguientes consideraciones en cuanto a los dominios mecánico, eléctrico/electrónico y de control.

2.1.1 *Requerimientos Mecánicos*

- El sistema deberá tener los suficientes grados de libertad para realizar funciones tales como sujeción de los tubos, cambio de herramienta, punción, entre otros de manera que el tecnólogo o el paciente no obstaculicen el movimiento.
- El sistema deberá estar diseñado utilizando los materiales adecuados para el uso en ambientes como hospitales o clínicas, es decir que se utilicen materiales que no permitan el alojamiento de bacterias.
- El sistema deberá cubrir sus actuadores y sistemas de transmisión de potencia como cuestión de seguridad para tecnólogo y el paciente.
- El sistema deberá brindar los soportes físicos necesarios para el correcto posicionamiento de los sensores y cámaras.
- El sistema deberá contar con un contenedor para el almacenamiento de los tubos al vacío.
- El sistema debe de ofrecer la resolución adecuada, determinada por el motor a utilizar y el sistema de transmisión diseñado, para la acción de punción, considerando el

diámetro promedio de las venas (2-4mm) se debe contar con al menos décimas de milímetro.

2.1.2 *Requerimientos Eléctricos y Electrónicos*

- El sistema deberá utilizar una cámara capaz de visualizar el espectro infrarrojo y detectar la diferencia de temperatura entre la piel y las venas en el brazo específicamente en la zona de la fosa cubital.
- El sistema deberá contar con sensores de ultrasonido de uso médico para la medir la profundidad a la que se encuentran de las venas.
- Los actuadores del sistema deberán contar con los frenos electromagnéticos necesarios para mantener la posición en caso de que la fuente de energía se desconecte repentinamente.
- El sistema deberá contar la protección adecuada para los picos de corriente, que no permita un pico más alto que la corriente máxima permitida por el motor con mayor carga.

2.1.3 *Requerimientos de Control*

- El sistema deberá ser capaz realizar el movimiento y captura de datos de manera autónoma hasta antes de realizar la punción, siendo el tecnólogo el que decide si los puntos seleccionados por el procesamiento de imágenes del software son adecuados, y de no serlo realizar otra toma de imágenes de forma manual.
- Todos los actuadores y sensores deben funcionar de forma autónoma y secuencial, y además deben poder ser controlados por el tecnólogo, para detener el proceso en caso de un mal funcionamiento.
- Para la función de punción, el sistema debe realizar el proceso con la acción de control adecuada, con el requisito de alcanzar una velocidad de avance rápida de forma casi inmediata pero que se mantenga constante, ya que se debe ser preciso al momento de la punción de la vena.

Nota: Dada la extensión y complejidad del sistema propuesto, este trabajo se limita al diseño físico en cuanto a los aspectos mecánicos y electrónicos, sin embargo, la programación (diagrama de flujo) y la acción de control (diagrama de bloques de control) requerida se explicarán de forma resumida más adelante.



Tabla 2.1. Lista de exigencias

Lista de exigencias		Pág. 1 de 2
		Edición: #1
Proyecto:	Diseño de robot para toma de sangre y rotulado de muestras en hospitales	
		Fecha: 17/08/2017
		Revisado:
Cliente:	PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ	
		Elaborado: Jorge Gutiérrez Zamudio
Fecha	Exigencia o deseo	Descripción
17/08/2017	E	Función de punción: Realizar la punción con la precisión de al menos 0.05mm y delicadeza necesaria (potencia adecuada de los actuadores) para no dañar o incomodar al paciente
17/08/2017	E	Función de rotulado: Realizar el etiquetado adecuado a la muestra tomada
17/08/2017	E	Cinemática: Realizar la prueba en un tiempo igual o menor al de un tecnólogo (promedio de 2 minutos) de forma eficiente
17/08/2017	E	Espacio: Ocupar un área menor o igual a 100x100cm y una altura menor o igual a 120cm
17/08/2017	E	Energía: Utilización de energía eléctrica estándar de 220V y 60Hz con un dispositivo transformador a corriente continua
06/09/2017	E	Período de uso: Capacidad de trabajar 8 horas de modo constante
17/08/2017	E	Insumos: Tubos al vacío ya preparados con su aguja para tomar las muestras
17/08/2017	E	Software: Procesamiento de imágenes necesario para seleccionar el punto de punción
17/08/2017	E	Toma de imágenes y video: Uso de un dispositivo para la toma de imágenes para visualizar las venas
17/08/2017	E	Detección de la profundidad de la vena: Uso de un transductor para visualizar la profundidad de la vena

Lista de exigencias		Pág. 2 de 2
		Edición: #1
Proyecto:	Diseño de robot para toma de sangre y rotulado de muestras en hospitales	
		Fecha: 17/08/2017
		Revisado:
Cliente:	PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ	
		Elaborado: Jorge Gutiérrez Zamudio
Fecha	Exigencia o deseo	Descripción
17/08/2017	E	Control: El tecnólogo debe ser capaz de iniciar y detener el proceso en el momento que sea necesario, y debe poder manipular los movimientos del robot en caso sea necesario
03/09/2017	E	Almacenamiento: El sistema debe tener un contenedor de un material antibacteriano para los tubos con las muestras de sangre. Capacidad de al menos 30 muestras.
03/09/2017	E	Cambio de herramienta: El sistema debe ser capaz de una vez hecha la punción y retirar la aguja poder cambiar a otra herramienta la cual sostenga un trozo de algodón y haga presión en el punto de inserción.
17/08/2017	E	Seguridad: Los movimientos del robot deben ser limitados para no colisionar con el paciente o el tecnólogo. Los sistemas de movimiento deben estar cubiertos.
17/08/2017	E	Ergonomía: Permitir un fácil uso al técnico en una posición cómoda, y sin afectar de forma negativa el confort del paciente
17/08/2017	E	Montaje: Las cámaras, sensores y otros periféricos deben ser desmontables para revisión o cambio en caso de fallas
17/08/2017	E	Ambiente de uso: Su uso está reservado a ambientes esterilizados como lo son lugares como clínicas y hospitales

2.2 Estructura de Funciones

En esta sección se mostrarán la caja negra para este diseño, la cual presenta las entradas a nuestro sistema y cuáles serán sus salidas de forma concisa, tanto físicas (tubo, aguja, papel) como intangibles (señales, energía, ruido). Además, también se mostrará la estructura de funciones, la cual presentará las tareas que realizará el sistema en el campo mecánico, eléctrico/electrónico, de control y de procesamiento de imágenes y como se vinculan unas tareas a otras.

2.2.1 Caja Negra

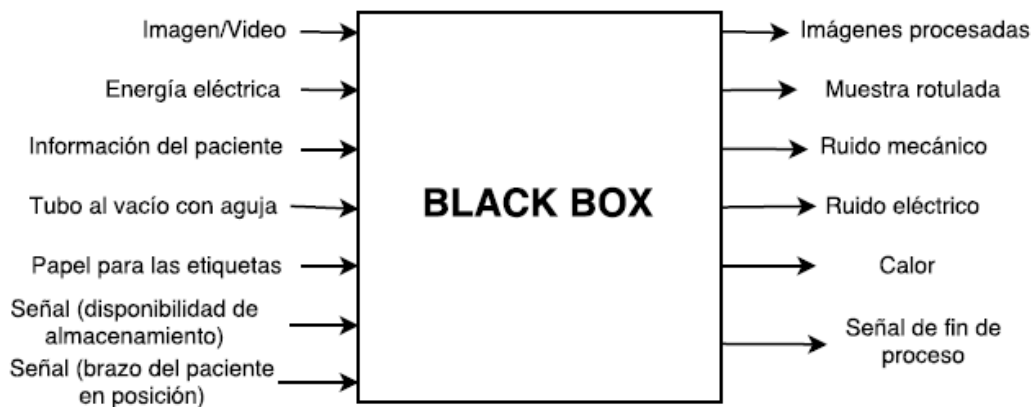


Figura 2.1. Caja negra del robot de toma y rotulado de sangre

2.2.2 Diagrama de Bloques de Estructura de Funciones

Como se mencionó al inicio de este capítulo, se procederá a mostrar la estructura de funciones a fin de describir las diversas funciones del presente proyecto lo mejor posible. Se presenta a continuación el diagrama de la estructura de funciones, la cual se ha dividido en 4 secciones para distinguir dichas funciones. Estos campos son: control, procesamiento de imágenes, mecánico, y eléctrico/electrónico.

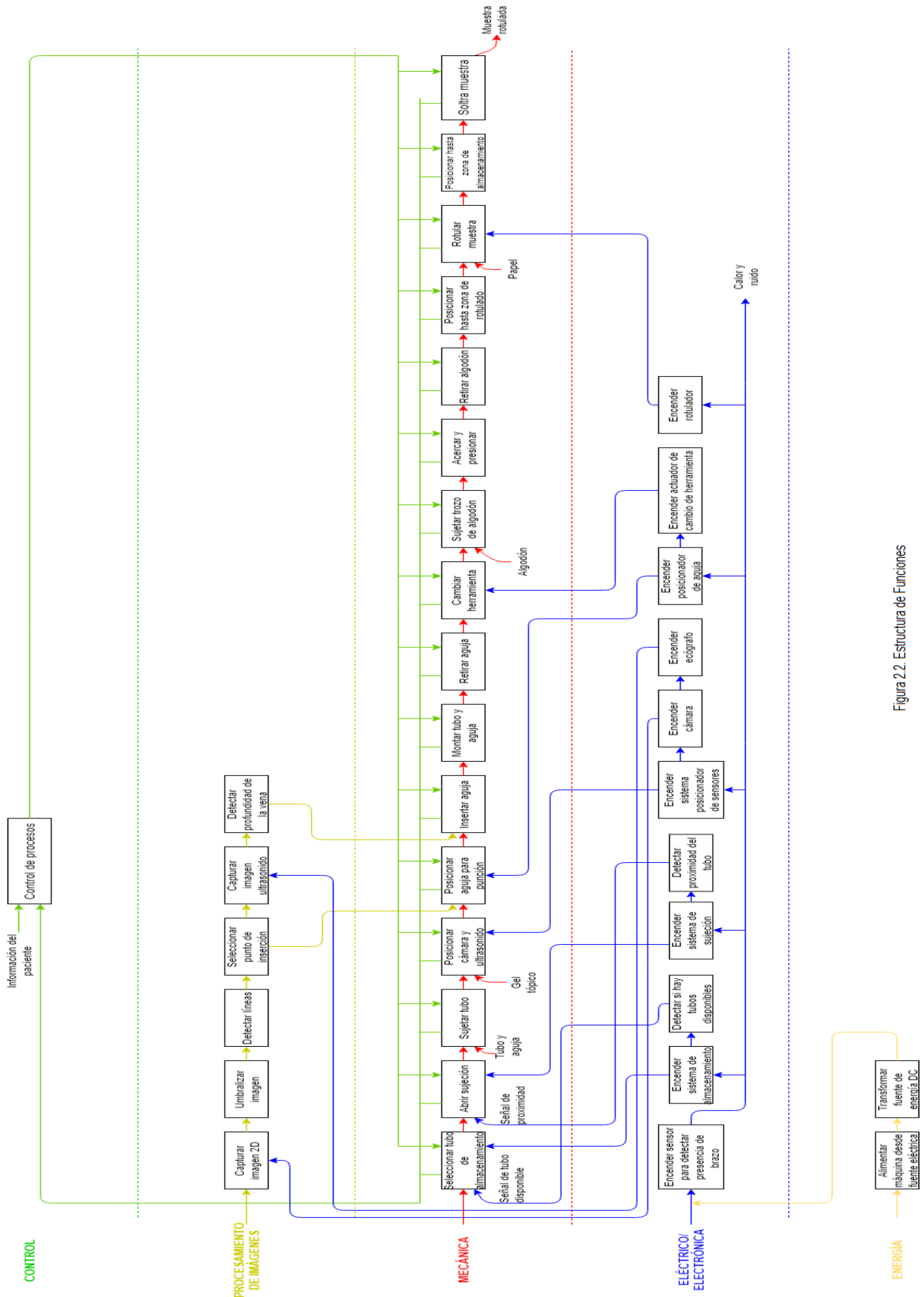









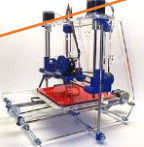


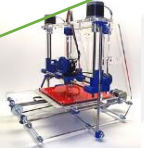


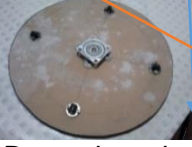




Figura 2.2. Estructura de Funciones

2.3 Matriz morfológica

A continuación, se presentarán las posibles opciones para realizar las tareas mostradas en la estructura de funciones, dividiéndolas en los ámbitos mecánico, electrónico y de control.

2.3.1 Dominio Mecánico





















Tabla 2.2. Matriz morfológica del dominio mecánico

	Opción 1	Opción 2	Opción 3
1. Almacenamiento de tubos	 Estante estándar	 Rack circular	 Sistema de almacenamiento diseñado
2. Sujetar del tubo	 Garra	 Ventosas	 Soporte impreso
3. Posicionar cámara y ultrasonido	 Sistema angular	 Sistema cartesiano	 Actuador lineal
4. Posicionar tubo con aguja	 Sistema angular	 Sistema cartesiano	 Actuador lineal
5. Cambiar herramienta	 Portaherramientas CNC	 Base giratoria	 Sistema angular
6. Rotular muestra	 Impresora de etiquetas	 Impresora portátil	 Rotulador electrónico

Solución 1, Solución 2, Solución 3

2.3.2 Dominio Eléctrico/Electrónico
















Tabla 2.3. Matriz morfológica del dominio eléctrico/electrónico

	Opción 1	Opción 2	Opción 3
1. Transformar energía eléctrica	 Fuente de voltaje	 Transformador de voltaje	 Regulador AVR
2. Encender sensor para detectar brazo	 Sensor de presión	 Cámara	 Sensor de ultrasonido
3. Encender sensor para detectar si sistema de almacenamiento está lleno	 Cámara infrarroja	 Sensor de presión	 Cámara
4. Encender sensor de detección proximidad del tubo	 Sensor de ultrasonido	 Sensor capacitivo	 Cámara
5. Encender cámara para detección de venas	 Cámara	 Cámara infrarroja	
6. Encender dispositivo de ultrasonido	 Equipo de ecografía Doppler	 Ecógrafo pocket	 Ecógrafo portátil
7. Encender actuador de cambio de herramienta	 Servomotor	 Motor a pasos	 Motor DC

Solución 1, Solución 2, Solución 3

2.3.3 Dominio de control

Tabla 2.4. Matriz morfológica del dominio de control

	Opción 1	Opción 2	Opción 3
1. Encender equipo	 <p>Llave termo magnética</p>	 <p>Interruptor</p>	 <p>Pulsador</p>
2. Controlar sensores y actuadores	 <p>Microcontrolador</p>	 <p>PLC</p>	 <p>DAQ</p>
3. Mostrar imágenes obtenidas	 <p>Pantalla LCD</p>	 <p>HMI</p>	 <p>Computadora</p>
4. Iniciar y controlar proceso de punción	 <p>Pulsador</p>	 <p>HMI</p>	 <p>Computadora</p>
5. Indicar proceso terminado	 <p>LED</p>	 <p>Buzzer</p>	 <p>Mensaje de audio</p>

Solución 1, Solución 2, Solución 3

2.4 Conceptos Solución General

De las posibles combinaciones de las soluciones de los dominios mencionados anteriormente, podemos obtener tres conceptos solución considerando los dominios mecánico, eléctrico-electrónico y de control:

- **SOLUCIÓN 1:** Solución 1, Solución 1, Solución 1
- **SOLUCIÓN 2:** Solución 2, Solución 2, Solución 2
- **SOLUCIÓN 3:** Solución 3, Solución 3, Solución 3

2.4.1 Concepto Solución 1

El sistema de la solución 1 muestra varias características para lograr los diversos puntos mencionados en la estructura de funciones.

El sistema contendrá una fuente de energía en una caja de circuitos, la cual también contendrá el microcontrolador, y todo el cableado necesario para el control de los sensores y actuadores del sistema. El microcontrolador estará conectado a una computadora la cual tendrá una interfaz de usuario la cual permitirá al tecnólogo ingresar los datos del paciente y controlar cada uno de los movimientos del sistema de forma individual en caso tenga que hacer algún ajuste. Además, esta interfaz mostrará las imágenes obtenidas por la cámara infrarroja y el ecógrafo portátil, y el tecnólogo puede verificar que el punto de inserción seleccionado sea adecuado.

En cuanto el sistema de almacenamiento se ha diseñado de tal manera que facilite la movilización de los tubos de ensayo para colocar en la posición adecuada un tubo aún sin usar y permita colocar de forma conveniente por separado a la aguja y al tubo para su sujeción mediante el uso de un motor a pasos y un actuador lineal. Además, al poder diseñar su forma se pueden colocar de forma estratégica los sensores necesarios, en este caso un sensor de presión, ya que sabiendo la densidad de la sangre y el volumen extraído en cada muestra, se puede calcular el peso que se agrega cuando el almacenamiento se llena de muestras completas y rotuladas, por lo que esta diferencia puede ser detectada por el sensor

mencionado, de manera que se nos indique en la interfaz que se requiere un vaciar el sistema de almacenamiento y reabastecerlo.

Para el posicionamiento de los dispositivos que permitirán mapear la ubicación de las venas, mediante un sistema de husillo de controla el descenso o ascenso de estos, lo cual permite un alto grado de precisión, ideal para no colisionar de manera abrupta con el brazo del paciente. Debajo de esta estructura es donde se coloca un soporte para el brazo del paciente. Este soporte tendrá un sensor de presión también, de manera que sirva como el que emita una señal que servirá para desbloquear de los movimientos del bloque móvil.

En cuanto al posicionamiento del tubo con la aguja para la punción, se utiliza un sistema cartesiano diseñado para mover en 4 grados de libertad. Si se observa el bosquejo del concepto solución 1, el movimiento del bloque móvil se logra mediante una rueda dentada y un camino de cremallera en el eje x, al llegar a la mesa basculante, esta se mece respecto al eje mencionado hasta un ángulo aproximado de 45° . En la parte superior del bloque móvil, una base giratoria gira respecto al eje z. Cabe resaltar que esta base giratoria tiene dos efectores finales, uno para la sujeción del tubo y otro para sujetar trozos de algodón para hacer presión después de la punción. Por último, esta base giratoria se puede mover en dirección del eje y, mediante un sistema de husillo el cuál como se ha mencionado antes, permite un alto grado de precisión que alcanza el orden de las centésimas de milímetro.

Finalmente, se diseña un sistema de rotulado en el cual se coloca momentáneamente el tubo para su rotulado, el cual se hace mediante una impresora portátil que se ubica dentro de una estructura. A medida que se va imprimiendo el papel con la información del paciente, se libera pequeñas dosis de pegamento sobre el lado en blanco del papel y a la vez se va moviendo la base giratoria en la que se apoya el tubo. Una vez terminado esto, se vuelve a sujetar el tubo para colocarlo dentro del almacenamiento. Terminado el proceso, se encenderá un LED en la caja de circuitos indicando el fin del procedimiento.

Ventajas:

- Alta precisión en la punción y el mapeo vascular con el sistema husillo
- Sistema de almacenamiento versátil
- Al tener varios bloques, hay facilidad para montaje/desmontaje y relativamente también es fácil de transportar

Desventajas

- Complejidad de los sistemas de movimiento
- La velocidad del proceso depende de varios tipos de movimiento



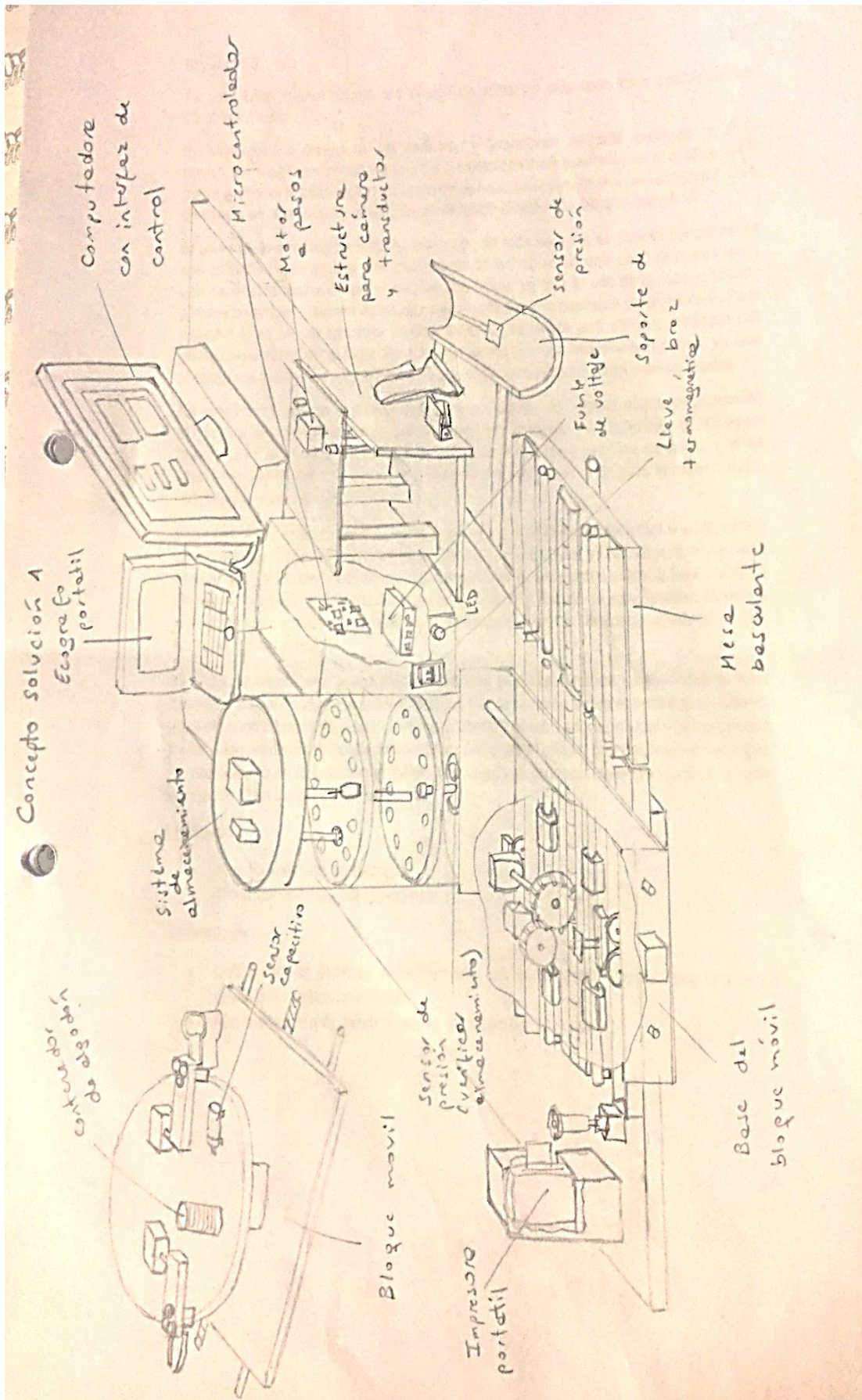


Figura 2.3 Concepto solución 1

2.4.2 Concepto Solución 2

En este caso, se ha optado por el uso de sistemas angulares para posicionar los efectores finales. El control de los sensores y actuadores se hace mediante un PLC conectado a los dispositivos y a un HMI (Human Machine Interface) en el cual se debe poder gestionar la información de forma similar como la descrita en el caso anterior. Otra diferencia en este caso es el uso de un ecógrafo Doppler de tamaño completo.

El sistema de almacenamiento en este caso es más sencillo, se cuenta simplemente con un rack circular para el almacenamiento de los tubos. En este caso se puede tener una capacidad mayor de espacios para los tubos, ya que el uso de brazos robóticos permite un amplio volumen de trabajo y se puede llegar a cualquier parte del rack. Para detectar si se ha llenado este almacenamiento, se utiliza una cámara infrarroja por debajo para visualizar si todos los tubos ya contienen una muestra sanguínea, ya que la sangre al estar a mayor temperatura que la del ambiente muestra colores fuertes.

En esta solución se ha escogido diseñar y fabricar las sujeciones mediante impresión 3D, la cual permite crear formas complejas de manera rápida y económica, por lo que se puede hacer una única forma de sujeción para los tubos y para los sensores que se ubicarán sobre el brazo del paciente. Para el posicionamiento de todo lo mencionado, se utilizarán dos brazos robóticos.

El primer brazo se encargará de colocar de forma conveniente el efector final que será un bloque que contenga el transductor del ecógrafo Doppler y una cámara. Este hace posible que se puedan colocar los sensores sobre varios puntos sobre la fosa cubital o antebrazo, es decir, un amplio volumen de trabajo. Por debajo de este sistema, tenemos el soporte para el brazo del paciente, el cual cuenta con un sensor de ultrasonido para la detección del brazo.

El segundo brazo tiene como efector final una pinza que pueda sujetar tanto el tubo como los trozos de algodón para colocarlos tras la punción sobre el brazo del paciente. Tras el procedimiento de punción, el brazo ubicará el tubo sobre una base giratoria para su rotulado

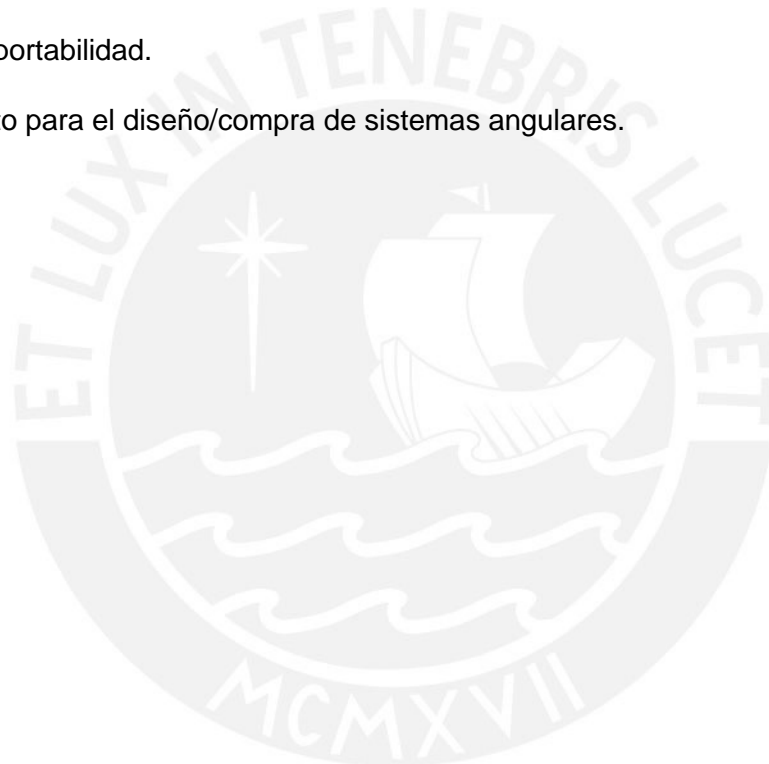
mediante un rotulador eléctrico. Se repite el mismo proceso mencionado en la solución anterior. Terminado el proceso, se encenderá un buzzer indicando el fin del procedimiento.

Ventajas:

- Amplio volumen de trabajo
- Poca cantidad de componentes

Desventajas:

- Utiliza mucho espacio, especialmente por el ecógrafo Doppler, por lo que se dificulta su transportabilidad.
- Alto costo para el diseño/compra de sistemas angulares.



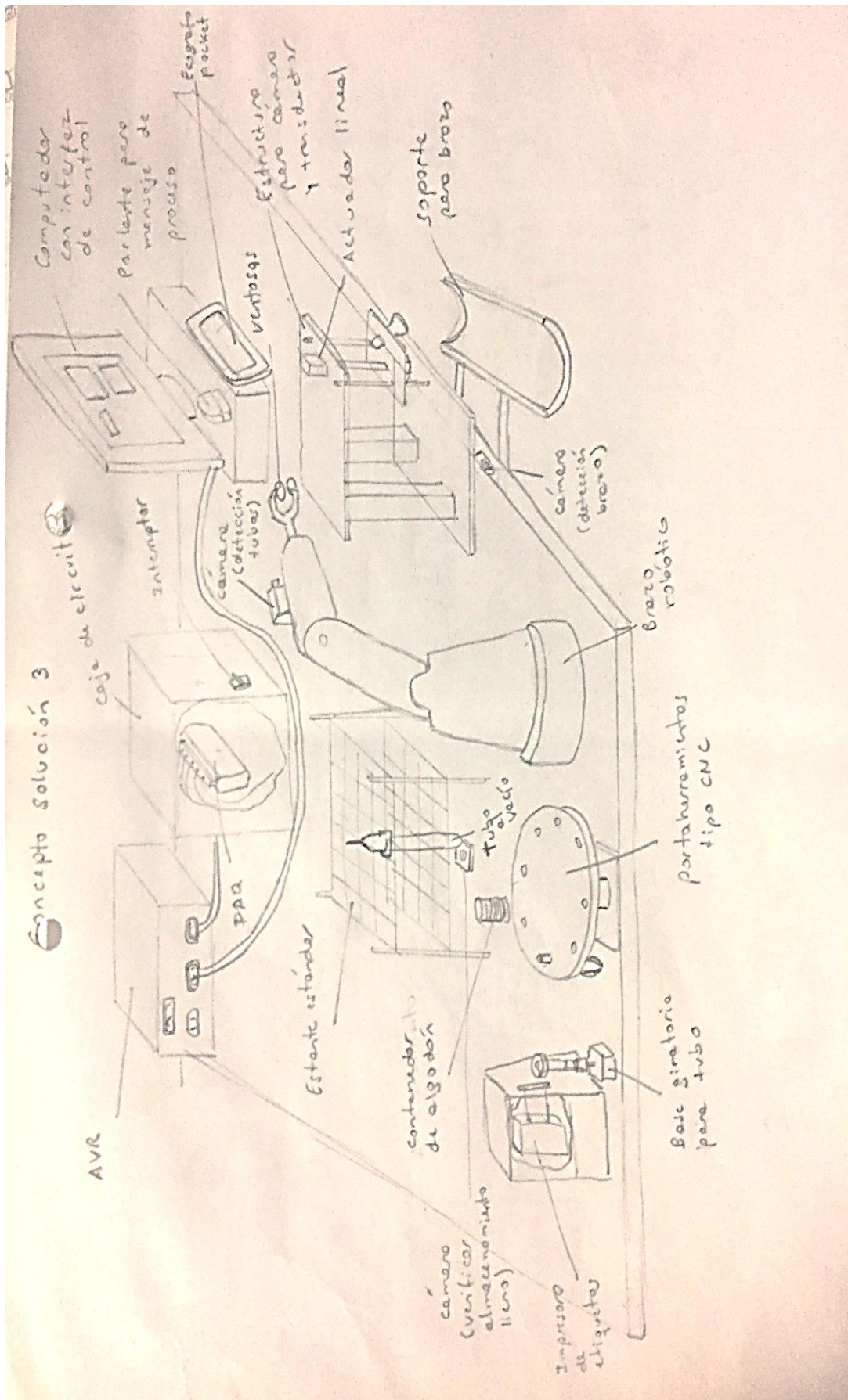


Figura 2.4. Concepto solución 2

2.4.3 Concepto Solución 3

Por último, tenemos la solución 3, la cual combina algunos puntos mencionados en las soluciones anteriores.

Esta solución cuenta con un AVR para un buen uso energético y evitar picos de energía. Para el control de los sensores y actuadores, se tiene un DAQ (Data Acquisition) el cual enviará las señales a una computadora con una interfaz similar a los casos anteriores. Una diferencia más en este caso es el uso de un ecógrafo pocket, el cual es aún más compacto que el portátil sin embargo su precio aumenta exponencialmente mientras más pequeño sea.

El sistema de almacenamiento es el más simple en comparación con las otras soluciones, ya que se utiliza un estante estándar de tubos de ensayo. Este permite una gran cantidad de muestras sin embargo se dificulta acceder a todas sus posiciones, por lo que se tiene que utilizar un brazo robótico. Por debajo de este se coloca una cámara para visualizar los colores de los tubos y detectar si ya no hay espacios disponibles.

Para la detección del mapa vascular se utiliza una cámara infrarroja y un transductor lineal los cuales están montados en una estructura la cual se mueve mediante un actuador lineal eléctrico, que permite un acercamiento rápido. Debajo de esta estructura se encuentra el soporte para el brazo del paciente, y para detectar que el paciente lo ha colocado en posición se utiliza una cámara.

Para el posicionamiento del tubo con la aguja se utiliza un brazo robótico, el cual con su volumen de trabajo puede alcanzar muchas posiciones como lo requiere el almacenamiento de los tubos. Este para la sujeción del tubo usa una herramienta la cual tiene ventosas a los lados. Además, tiene al costado un portaherramientas en el cual puede cambiar de herramienta a otras de sujeción más fina como lo puede requerir la sujeción del algodón o de las etiquetas.

Una vez hecha la punción, se coloca el tubo sobre una base giratoria de manera similar a los casos anteriores, y una impresora de etiquetas imprime la etiqueta con la información del paciente. Apoyándose con el brazo robótico y utilizando la herramienta de sujeción adecuado, se sujeta la etiqueta para despegarla y se va adhiriendo con cuidado al tubo mientras esta gira. Por último, se coloca el tubo sobre el estante. Terminado el proceso, se debe emitir un mensaje de voz al paciente indicándole que el procedimiento ha concluido.

Ventajas:

- Gran capacidad de muestras
- Buen uso energético

Desventajas:

- Alto costo, especialmente por el ecógrafo pocket
- Compleja la operación del rotulado
- Acercamiento de sensores con poca precisión y la sujeción es la menos segura

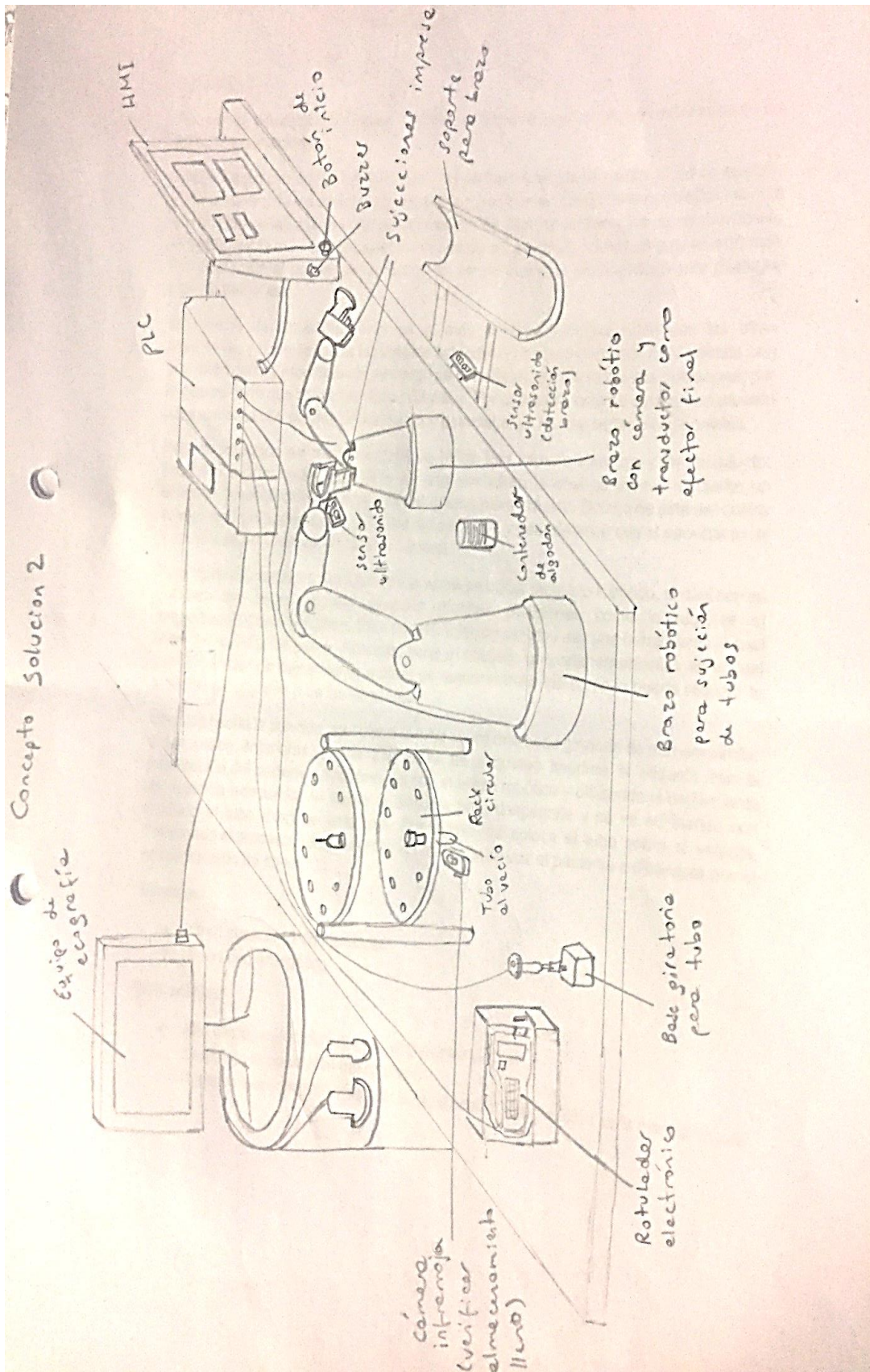


Figura 2.5. Concepto solución 3

2.5 Evaluación de Conceptos Solución

Tomando las soluciones generales determinadas anteriormente, se obtiene la siguiente evaluación de acuerdo a aspectos técnicos y económicos:

Tabla 2.5. Evaluación de aspectos técnicos y económicos

No.	Criterios Técnicos y Económicos	Soluciones		
		1	2	3
1	Complejidad	2	2	3
2	Costo de la tecnología	2	2	1
3	Rapidez de posicionamiento	2	3	3
4	Fácil mantenimiento	2	2	3
5	Buen uso de energía	2	2	3
6	Fácil adquisición materiales de fabricación	3	1	1
7	Transportabilidad	2	2	2
8	Facilidad de montaje	2	2	2
9	Seguridad	3	2	2
10	Número de piezas	2	3	2
	Suma Total	22	21	22

Tabla 2.6. Evaluación según valores técnicos

Criterios de evaluación técnicos										
Variantes de concepto/proyecto		Solución 1			Solución 2		Solución 3		Solución ideal	
N°	Criterios de evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
1	Complejidad	2	2	4	2	4	3	6	4	8
2	Rapidez de posicionamiento	3	2	6	3	9	3	6	4	12
3	Buen uso energético	2	2	4	2	4	3	6	4	8
4	Transportabilidad	1	2	2	1	1	2	2	4	4
5	Seguridad	3	3	9	2	6	1	3	4	12
Puntaje máximo			11	25	10	24	13	26	20	44
Valor técnico xi			0.550	0.568	0.5	0.545	0.65	0.591	1	1

Tabla 2.7. Evaluación según valores económicos

Criterios de evaluación económicos											
Variantes de concepto/proyecto		Solución 1			Solución 2		Solución 3		Solución ideal		
Nº	Criterios de evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp	
1	Costo de tecnología	2	2	4	2	4	1	2	4	8	
2	Facilidad de mantenimiento	3	2	6	2	6	3	9	4	12	
3	Fácil adquisición materiales	2	3	6	1	2	1	2	4	8	
4	Facilidad de montaje	2	2	4	2	4	2	4	4	8	
5	Número de piezas	3	2	6	3	9	2	6	4	12	
Puntaje máximo			11	26	10	25	9	23	20	48	
Valor económico yi			0.550	0.542	0.5	0.521	0.45	0.479	1	1	

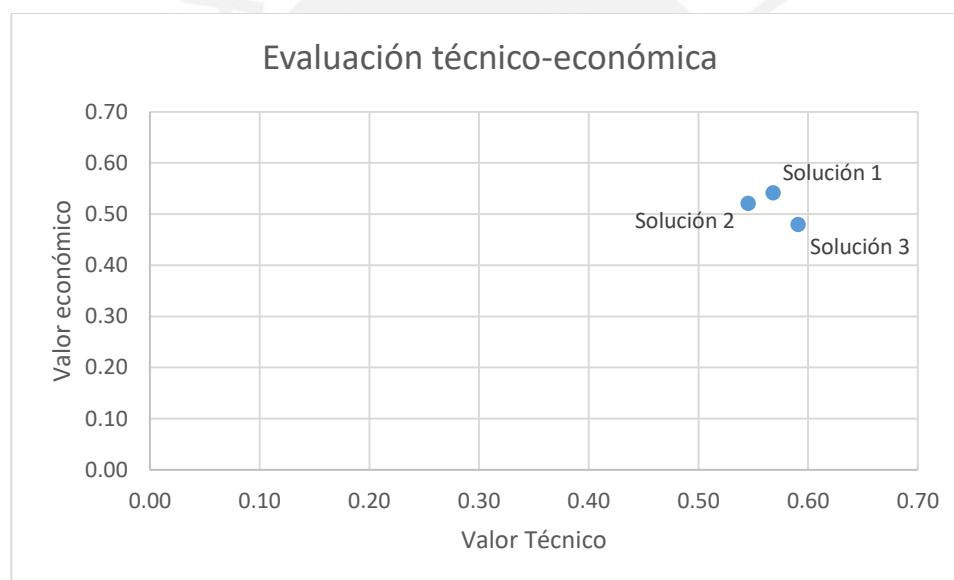


Figura 2.6. Diagrama de evaluación según VDI 2225

De acuerdo a la evaluación realizada según los aspectos técnicos y económicos del proyecto, se puede ver que, desde el punto de vista técnico, el concepto solución 3 es la mejor opción, sin embargo, supone un gran costo en comparación a las otras posibles soluciones. Por otra parte, el concepto solución 1 también tiene un buen valor técnico y es el más accesible visto desde el ámbito económico, por lo tanto, este será el concepto solución con el que se proseguirá con el diseño.

Capítulo 3

Diseño del concepto solución óptimo

A partir del concepto solución seleccionado en el capítulo anterior, en esta sección se dará una noción del dimensionamiento total del sistema diseñado, y se indicarán las conexiones de los subsistemas (compuestos por motores y sistemas de transmisión), equipos, controladores y sensores a partir de un diagrama de bloques. Además, se explicará el funcionamiento del sistema mediante un diagrama de flujo desde el encendido de la máquina hasta la obtención y almacenamiento de la muestra rotulada.

3.1 Dimensionamiento General

Para el diseño del concepto solución óptimo, dada la gran variedad de funciones y movimientos del sistema, se ha optado por dividir el sistema general en diferentes subsistemas. En la siguiente imagen, se aprecia las diferentes partes de la maquina en general.

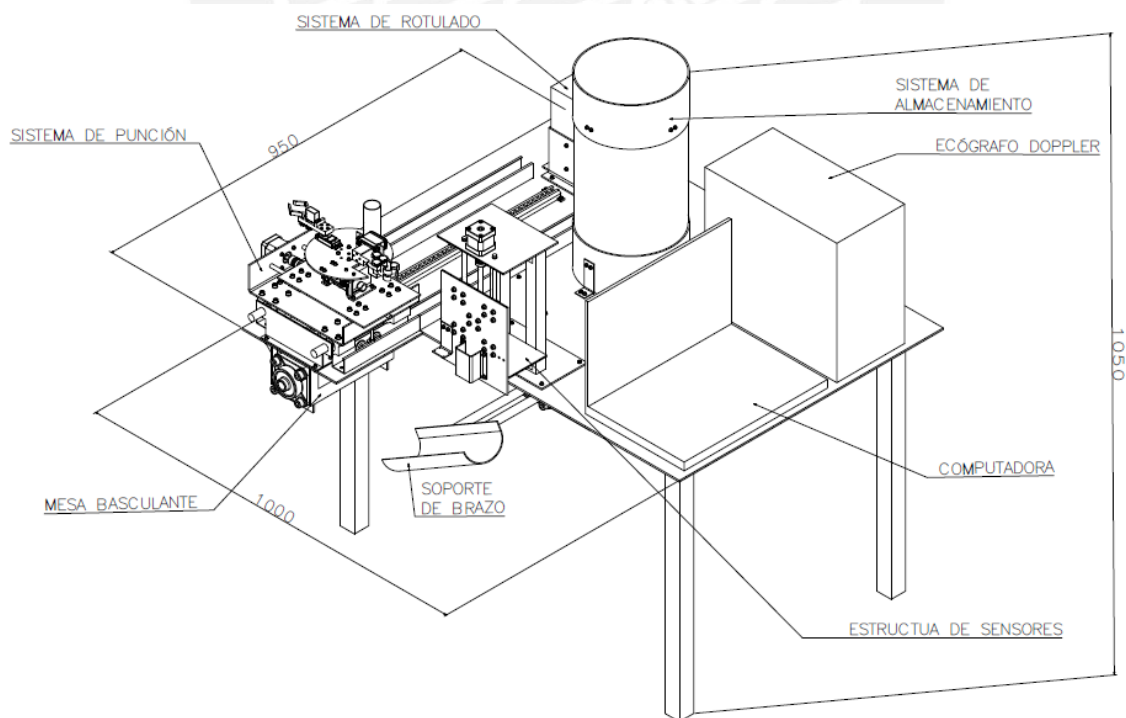


Figura 3.1. Dimensionamiento general del sistema

3.2 Diagrama de Bloques

De acuerdo a los subsistemas presentados en la figura anterior, para el diagrama de bloques respectivo del sistema en general se debe considerar que cada subsistema tiene su grupo de actuadores los cuales realizan los movimientos correspondientes y que de alguna forma estos retroalimentan a los procesadores para indicar en que parte del proceso se encuentra la venopunción. Los componentes y las conexiones entre estos se pueden resumir los siguientes bloques.

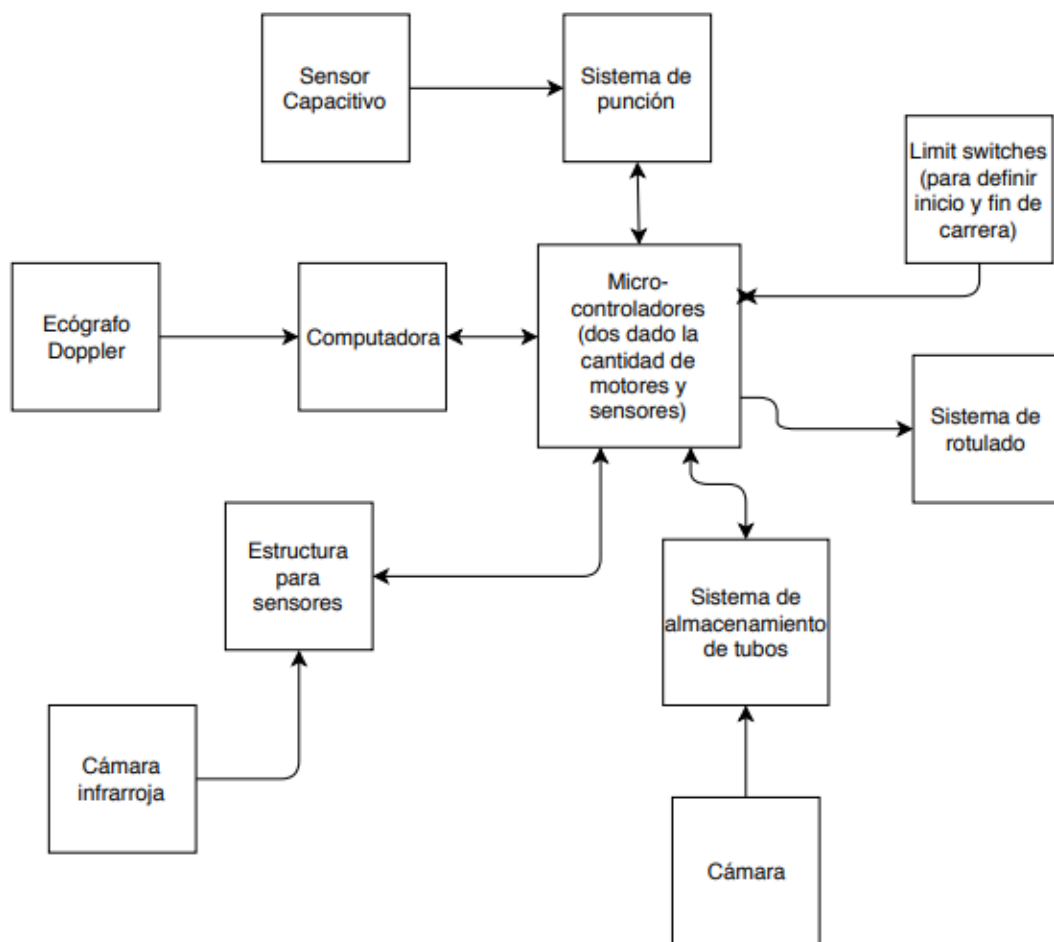


Figura 3.2. Diagrama de bloques

3.3 Diagrama de Flujo

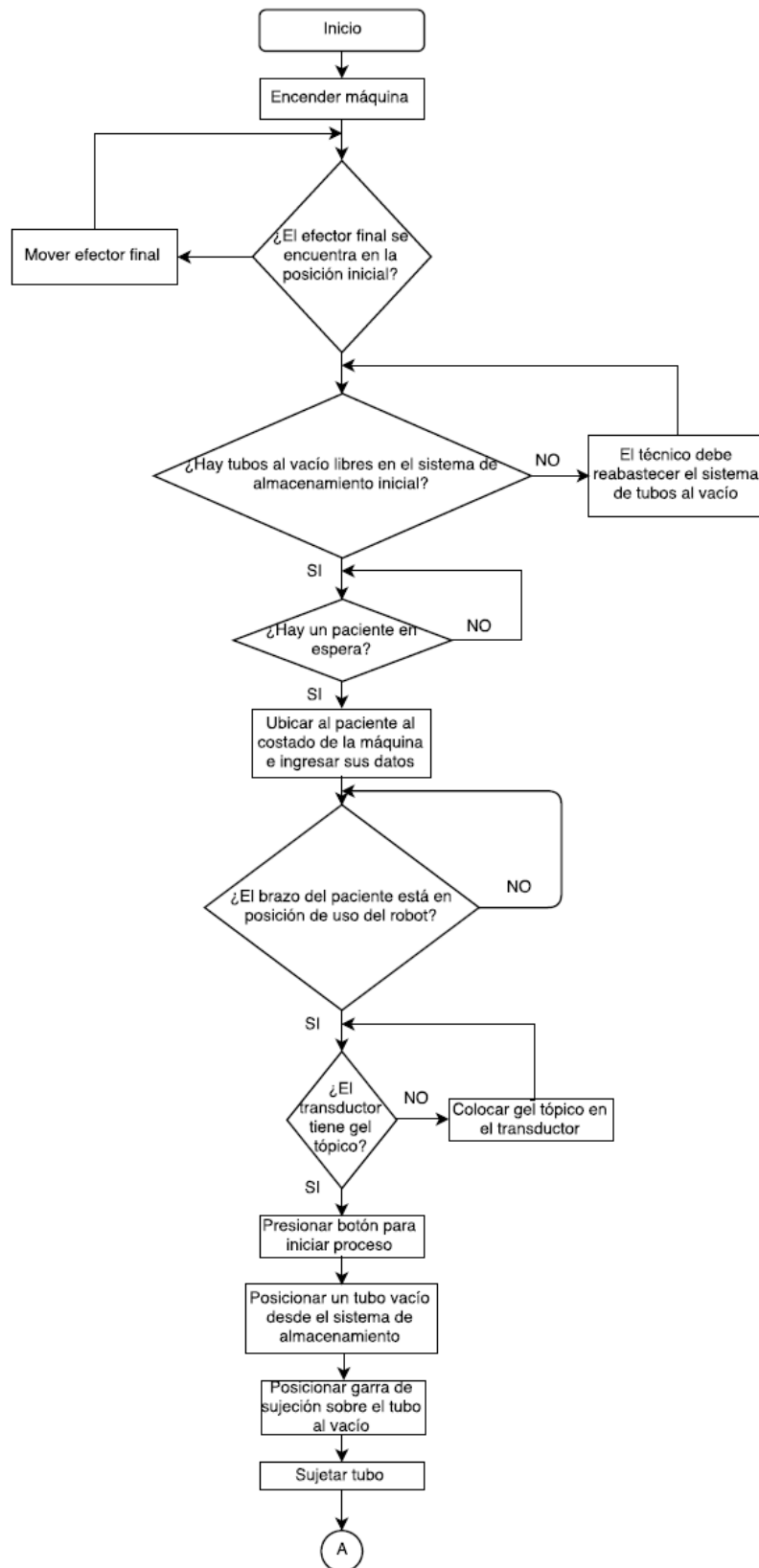


Figura 3.3. Diagrama de flujo (parte 1)

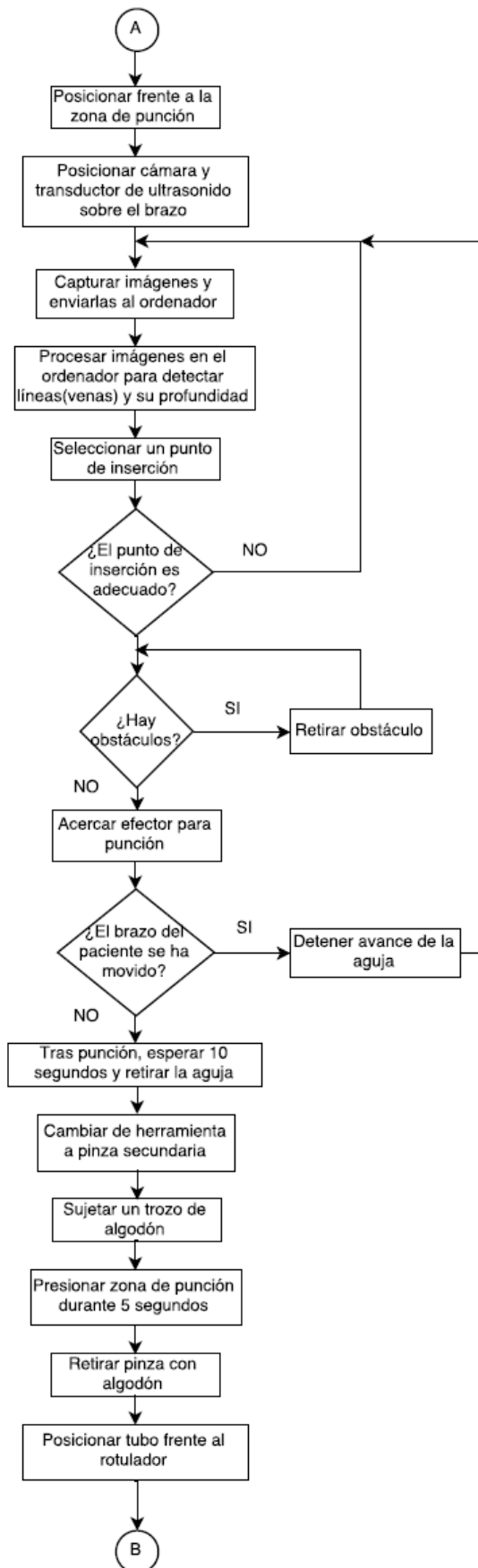


Figura 3.4. Diagrama de flujo (parte 2)

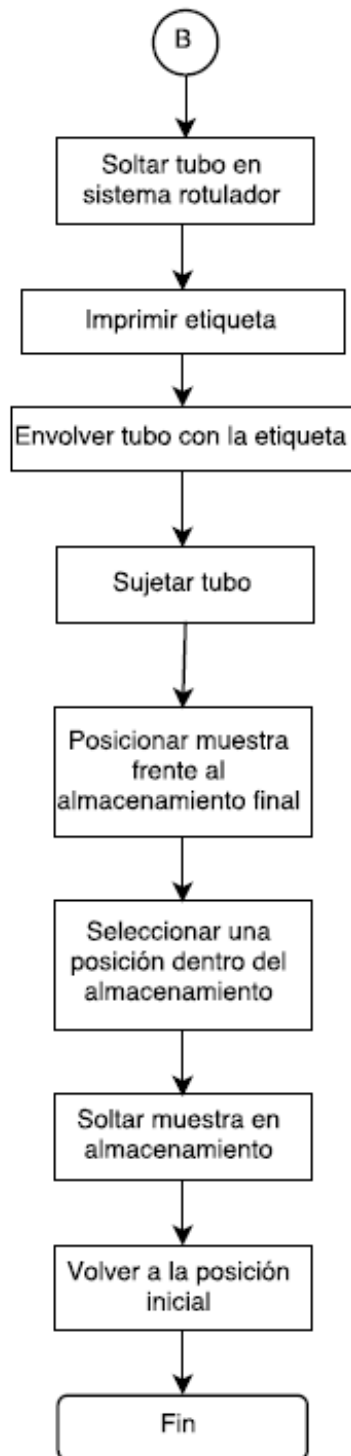


Figura 3.5. Diagrama de flujo (parte 3)

3.4 Diagrama de bloques de control

Como se ha explicado anteriormente en los requisitos del sistema, la mayoría de movimiento del sistema se deberán hacer de forma automática, sin embargo, hay que tener algunas consideraciones. En primer lugar, los actuadores de todo el sistema deben encontrarse bloqueados hasta que el paciente coloque su brazo sobre el soporte correspondiente, el cual contará con un sensor de presión. Después, respecto al acercamiento de la aguja, cuando la proximidad al brazo sea menor a 5cm, deberá ser de manera controlada, dependiendo además del sensor anterior, de un sensor capacitivo para detectar la distancia hacia el brazo, además de las imágenes obtenidas y que se procesan de la cámara infrarroja y el ecógrafo doppler. Considerando que el sistema en este punto se modelaría para obtener una respuesta rápida, que minimice los errores y que sea robusto a sobreimpulsos, se necesitaría un control PID. A continuación, se muestra en forma general como se daría diagrama según lo descrito.

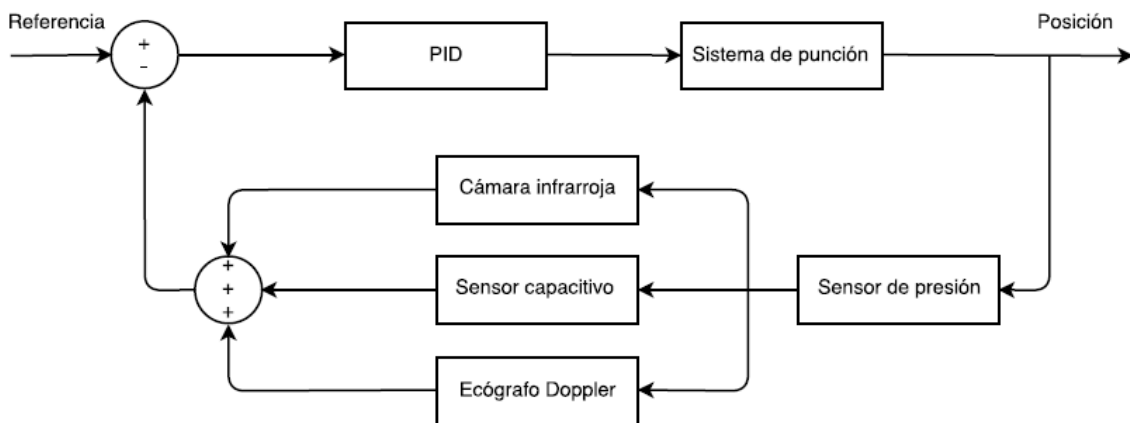


Figura 3.6. Diagrama de bloques de control

3.5 Memoria de cálculo

En esta sección, se detallarán los cálculos realizados para la selección de motores y para verificar que las uniones de diversas partes del sistema no fallen.

3.5.1 Cálculo de sistema husillo del sentido de la punción

En esta parte se realizan los cálculos necesarios para la selección del motor que realizará el movimiento del sistema de punción, con enfoque en hallar la velocidad angular (a partir de la velocidad lineal requerida) y el torque requerido. Para apoyo visual, se hace uso del siguiente modelo.

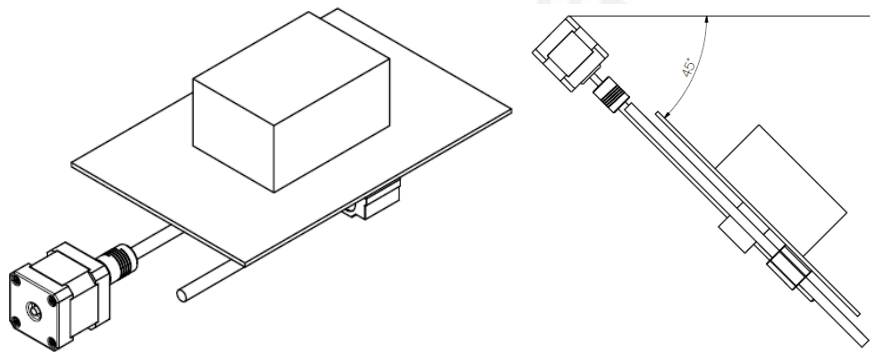


Figura 3.7. Modelo para cálculo del sistema de punción

$$m = 2kg$$

$$\mu_{GL} = 0.05 \quad (\text{Coeficiente de fricción entre guía lineal y rodamiento lineal})$$

$$\rho = 7930kg/m^3$$

Datos husillo de bolas

Para este caso, como es necesario el uso de un husillo con el cual se pueda realizar un avance pequeño, del orden de las centésimas de milímetro, además de que sea eficiente, se considerará un husillo de bolas con las siguientes características.

$$D = 8mm$$

$$L = 240mm$$

$$P = 2.5mm/rev$$

$$\eta = 90\%$$

$$T_R = 0.2N.m \text{ (Par de rotura)}$$

Fuerza externa

Debido a que existe una pequeña resistencia para la penetración de la piel, se da una fuerza externa en sentido contrario de la dirección del movimiento. Según estudios (VAN GERWEN & DANKELMAN, 2012) se ha calculado que la fuerza necesaria para la punción de la aguja varía entre 1-10N.

$$F_p = 10N$$

Ángulo crítico de acción

$$\alpha = -45^\circ$$

Velocidad lineal requerida

$$v = 20mm/s$$

$$t_1 = 1s$$

Factor de seguridad

$$s = 1.5$$

Inercia de la carga

$$J_w = m \times \left(\frac{P \times 10^{-3}}{2\pi}\right)^2 \dots(1) \quad J_s = \frac{\pi}{32} \times \rho \times L \times 10^{-3} \times (D \times 10^{-3}) \dots(2)$$

$$J_w = 2 \times \left(\frac{2.5 \times 10^{-3}}{2\pi}\right)^2 \quad J_s = \frac{\pi}{32} \times 7930 \times 240 \times 10^{-3} \times (8 \times 10^{-3})$$

$$J_w = 3.165 \times 10^{-7} kg.m^2 \quad J_s = 7.653 \times 10^{-7} kg.m^2$$

$$J_c = J_w + J_s \dots(3)$$

$$J_c = 10.818 \times 10^{-7} kg.m^2$$

Velocidad angular requerida

$$w = v \times \frac{60}{P} \dots (4)$$

$$w = 20 \times \frac{60}{2.5}$$

$$w = 480 \text{ rev/min}$$

Torque de aceleración

$$T_a = J_c \times \frac{w}{9.55 \times t_1} \dots (5)$$

$$T_a = 10.818 \times 10^{-7} \times \frac{480}{9.55 \times 1}$$

$$T_a = 5.437 \times 10^{-5} \text{ N.m}$$

Torque de carga

$$F = F_p + m \times g(\text{sen } \alpha + \mu \text{ cos } \alpha) \dots (6)$$

$$F = |10 + 2 \times 9,81(\text{sen}(-45^\circ) + 0.05 \text{ cos}(-45^\circ))|$$

$$F = 3.179 \text{ N}$$

$$T_c = \frac{1.1 \times \frac{F \times P \times 10^{-3}}{2\pi} + T_R}{\eta} \dots (7)$$

$$T_c = \frac{1,1 \times \frac{3.179 \times 2.5 \times 10^{-3}}{2\pi} + 0.2}{0,9}$$

$$T_c = 0.225 \text{ N.m}$$

Torque requerido

$$T = (T_a + T_c) \times s \dots (8)$$

$$T = 0.338 \text{ N.m}$$

En base a los cálculos realizados, se ha determinado que se requiere un motor que alcance un torque de 0.338Nm para movilizar el sistema de punción.

3.5.2 Cálculo mesa giratoria

De manera similar al caso anterior, ahora se debe calcular el torque necesario del motor que controle la mesa giratoria la cual cargara con los brazos de sujeción para los tubos y para los trozos de algodón. Además, se considera también el peso del almacenamiento de los algodones y el sistema para acoplar el tubo al vacío.

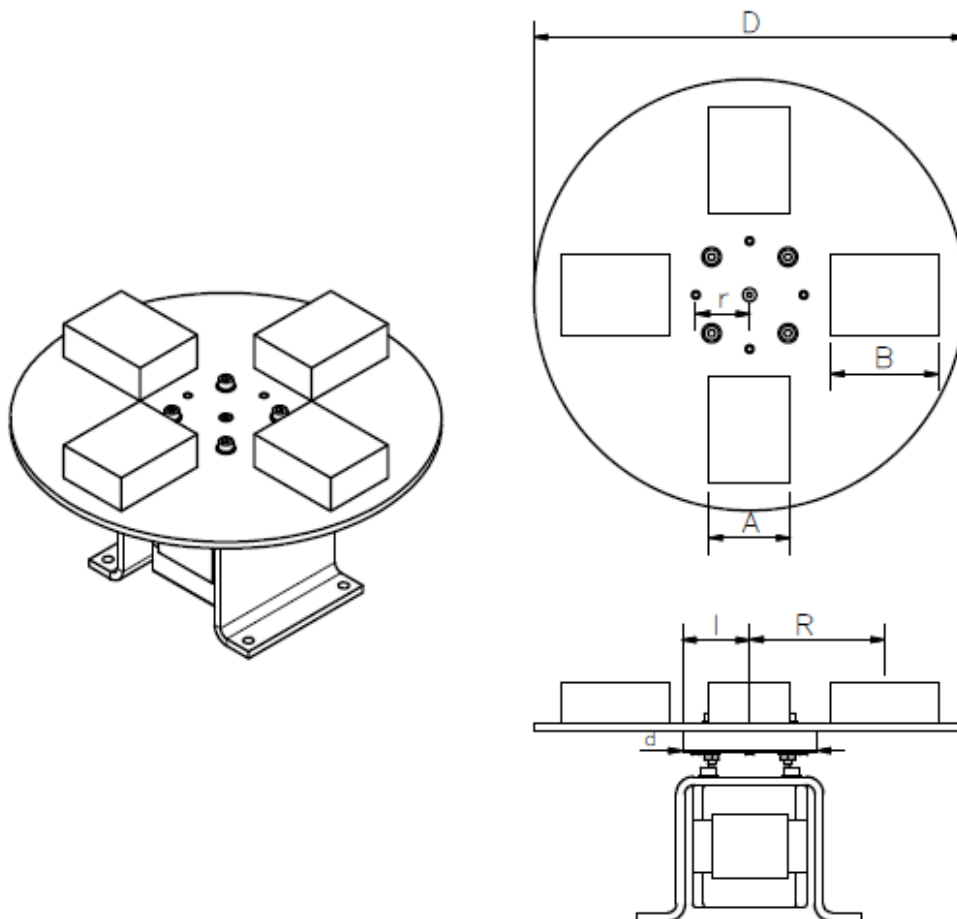


Figura 3.8. Modelo para cálculo de mesa giratoria

Datos mesa giratoria

$$m_1 = 0.16kg$$

$$D = 160mm$$

Datos acople

$$d = 50mm$$

$$m_2 = 0.126kg$$

$$r = 20mm$$

Datos de las cargas

$$A = 30mm$$

$$B = 40mm$$

$$R = 50mm$$

$$m_c = 0.156kg$$

$$n = 4 \text{ (número de cargas)}$$

Soporte (rodamiento axial)

$$\mu = 0,05$$

$$l = 25mm$$

$$\eta = 90\%$$

Velocidad requerida (mínima)

$$v = 60rev/min$$

$$t_1 = 1s$$

Factor de seguridad

$$s = 1.5$$

Inercia de carga

$$J_1 = \frac{m_1 \times (D \times 10^{-3})}{8} \dots (1)$$

$$J_1 = \frac{0.16 \times (160 \times 10^{-3})}{8}$$

$$J_1 = 5.12 \times 10^{-4} \text{kg.m}^2$$

$$J_2 = \frac{m_2 \times (d \times 10^{-3})}{8} \dots (2)$$

$$J_2 = \frac{0.126 \times (50 \times 10^{-3})}{8}$$

$$J_2 = 7.88 \times 10^{-4}$$

$$J_3 = \frac{m_c \times [(A \times 10^{-3})^2 + (B \times 10^{-3})^2 + 12 \times (R \times 10^{-3})^2] \times n}{12} \dots (3)$$

$$J_3 = \frac{0.156 \times [(30 \times 10^{-3})^2 + (40 \times 10^{-3})^2 + 12 \times (50 \times 10^{-3})^2] \times 4}{12}$$

$$J_3 = 1.69 \times 10^{-3} \text{kg.m}^2$$

$$J_c = J_1 + J_2 + J_3 \dots (4)$$

$$J_c = 2.99 \times 10^{-3} \text{kg.m}^2$$

Torque de aceleración

$$T_a = J_c \times \frac{v}{9.55 \times t_1} \dots (5)$$

$$T_a = 2.99 \times 10^{-3} \times \frac{60}{9.55 \times 1}$$

$$T_a = 1.88 \times 10^{-2} \text{N.m}$$

Torque de carga

$$m_T = m_1 + m_2 + m_c \times 4 \dots (6)$$

$$m_T = 0,91kg$$

$$T_c = \frac{m_T \times g \times \mu \times (l \times 10^{-3})}{\eta} \dots (7)$$

$$T_c = \frac{0.91 \times 9.81 \times 0.05 \times (25 \times 10^{-3})}{0.9}$$

$$T_c = 1.24 \times 10^{-2} N.m$$

Torque requerido

$$T = (T_a + T_c) \times s \dots (8)$$

$$T = 0.047 N.m$$

En base a los cálculos se ha determinado que para el giro de la mesa considerando cargas en sus extremos se requiere de un motor que alcance un torque de 0.047Nm.

3.5.3 Cálculo unión por pines a base rotatoria

En la figura del modelo (figura 3.8) se presenta que la unión del tambor de acople a la mesa redonda será por medio de 4 pernos y 4 pines, siendo los últimos los que soportarán la mayor parte del esfuerzo corte que se genera por el torque.

Fuerza que recibe cada pin

$$F = \frac{T}{4 \times r \times 10^{-3}} \dots (9)$$

$$F = \frac{0.047}{4 \times 20 \times 10^{-3}}$$

$$F = 0.5875 N$$

Sección del pin

$$A = \frac{\pi \times d_p^2}{4} \dots (10)$$

$$A = \frac{\pi \times 3^2}{4}$$

$$A = 7.07 \text{mm}^2$$

Esfuerzo cortante

$$S = \frac{F}{A} \dots (11)$$

$$S = \frac{0.5875}{7.07}$$

$$S = 0.083 \text{N/mm}^2$$

Comparado al esfuerzo admisible del acero (210 GPa), este esfuerzo es insignificante, por lo que no habrán fallas en estos elementos de unión.

3.5.4 Cálculo mesa basculante

En esta sección calcularemos los requerimientos del actuador que controlará la mesa basculante (sobre la que reposará el sistema de punción) que se encargará de definir el ángulo de ataque de la aguja. Para ello, asumiremos que la masa sobre la mesa es de aproximadamente un máximo de 12kg, considerando para cuestiones del cálculo que la mayoría de materiales de la mesa y del sistema de punción serán de acero inoxidable.

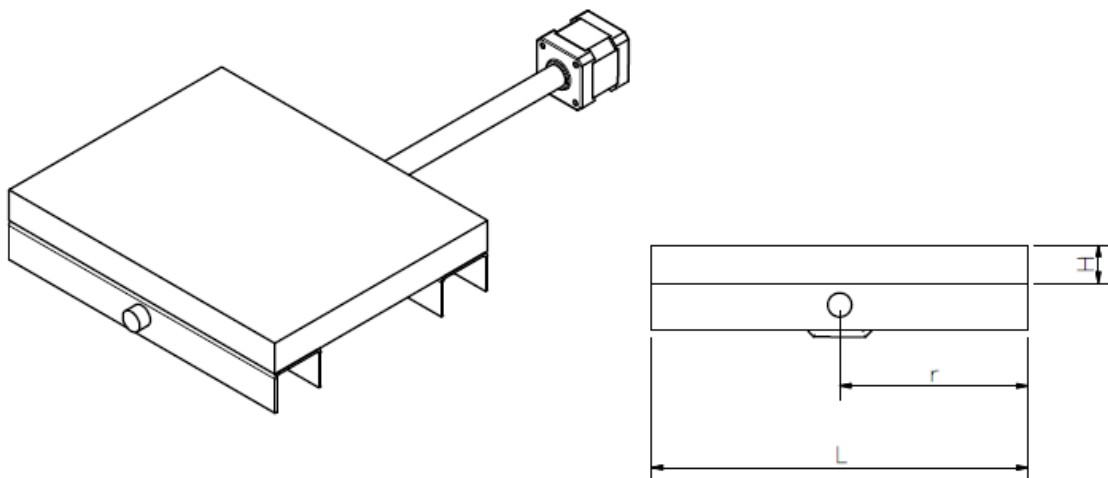


Figura 3.9. Modelo para cálculo de mesa basculante

$$m = 12kg$$

$$L = 250mm$$

$$H = 25mm$$

$$r = 125mm$$

$$\eta = 80\%$$

Velocidad de operación

$$v = 30rev/min$$

$$t = 1s$$

Factor de seguridad

$$s = 1.2$$

Inercia de carga

Asumiendo el caso en que la carga se acumule en el extremo en posición vertical:

$$J_c = \frac{m \times [(L \times 10^{-3})^2 + (H \times 10^{-3})^2 + 12 \times (r \times 10^{-3})^2]}{12} \dots (1)$$

$$J_c = \frac{12 \times [(250 \times 10^{-3})^2 + (25 \times 10^{-3})^2 + 12 \times (125 \times 10^{-3})^2]}{12}$$

$$J_c = 0.249kg.m^2$$

Torque de aceleración

$$T_a = J_c \times \frac{v}{9.55 \times t} \dots (2)$$

$$T_a = 0.249 \times \frac{30}{9.55 \times t}$$

$$T_a = 0.782N.m$$

Torque de carga

$$T_c = \frac{(m \times r \times 10^{-3}) \times g}{\eta} \dots (3)$$

$$T_c = \frac{(12 \times 125 \times 10^{-3}) \times 9.81}{0.8}$$

$$T_c = 18.394 N.m$$

Torque requerido

$$T = (T_a + T_c) \times s \dots (4)$$

$$T = 23.01 N.m$$

Se ha determinado que el motor que se utilizará para el movimiento angular de la mesa basculante será uno de alto torque en comparación al resto de sistemas, sin embargo, podemos reducir ese torque requerido mediante el uso de un sistema de transmisión de potencia. En este caso, asumiremos una relación de transmisión de 1:3 de manera que reduciremos el torque necesario a un tercio. Más adelante en la sección de selección de materiales y componentes, se retomará este punto.

3.5.5 Calculo para movimiento eje x

A partir del siguiente modelo se debe determinar la fuerza por fricción estática a vencer para poder movilizar el sistema de puncción dentro y fuera de la mesa basculante, y así obtener el torque requerido para la selección del motor.

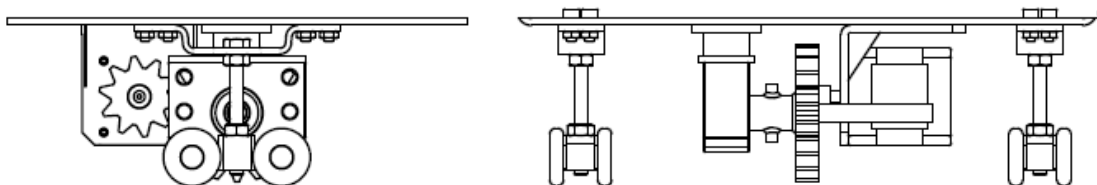


Figura 3.10. Modelo para cálculo de avance en eje x

Datos

$m = 3kg$ (Carga aproximada a mover)

$\mu = 0.15$ (Coeficiente de fricción entre las ruedas y riel)

$r = 30mm$ (Radio aproximado de la rueda dentada)

$$F_f = \mu \times m \times g \dots(1)$$

$$F_f = 0.15 \times 3 \times 9.81$$

$$F_f = 4.41N$$

$$T = F_f \times r \times 10^{-3} \dots(2)$$

$$T = 4.41 \times 30 \times 10^{-3}$$

$$T = 0.132N.m$$

Se ha determinado que el torque necesario es de 0.132Nm para realizar el movimiento del sistema.

3.5.6 Cálculo para brazo de sujeción

A continuación, se hace el cálculo del torque requerido por el motor que se encargará de la sujeción del tubo. Además, el resultado obtenido se utilizará también para la selección del actuador del brazo de sujeción del algodón ya que ambos deben ser de dimensiones similares debido al limitado el espacio de trabajo.

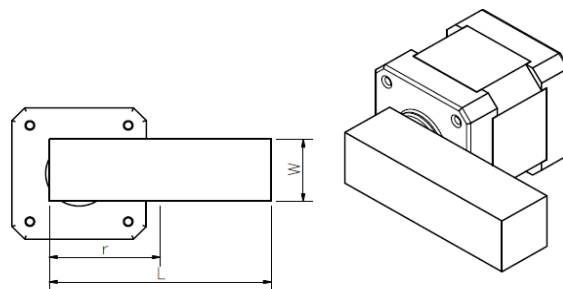


Figura 3.11. Modelo para cálculo de brazo de sujeción

Datos

$$m = 0.16kg$$

$$L = 70mm$$

$$W = 20mm$$

$$r = 35mm$$

$$\eta = 80\%$$

Velocidad requerida

$$v = 30rev/min$$

$$t = 1s$$

Factor de seguridad

$$s = 1.5$$

Inercia de carga

$$J_c = \frac{m \times [(L \times 10^{-3})^2 + (W \times 10^{-3})^2 + 12 \times (r \times 10^{-3})^2]}{12} \dots (1)$$

$$J_c = \frac{0.16 \times [(70 \times 10^{-3})^2 + (20 \times 10^{-3})^2 + 12 \times (35 \times 10^{-3})^2]}{12}$$

$$J_c = 2.67 \times 10^{-4}kg.m^2$$

Torque de aceleración

$$T_a = J_c \times \frac{v}{9.55 \times t} \dots (2)$$

$$T_a = 2.67 \times 10^{-4} \times \frac{30}{9.55 \times t}$$

$$T_a = 8.38 \times 10^{-4}N.m$$

Torque de carga

$$T_c = \frac{(m \times r \times 10^{-3}) \times g}{\eta} \dots (3)$$

$$T_c = \frac{(0.16 \times 35 \times 10^{-3}) \times 9.81}{0.8}$$

$$T_c = 0.069 N.m$$

Torque requerido

$$T = (T_a + T_c) \times s \dots (4)$$

$$T = 0.105 N.m$$

A partir de los cálculos se ha determinado que el torque que requiere el brazo para movilizar los tubos es de 0.105Nm.

3.5.7 Cálculo unión por chaveta

Para la unión de algunos de los motores, se necesita un elemento de unión, en este caso, se optó por unión por chaveta. Para este caso, se calculará el caso más crítico que para la chaveta que iría en el eje de la mesa basculante. El siguiente dimensionamiento será realizado de acuerdo a la norma DIN 6885.

Tabla 3.1 Tabla para selección de chaveta según DIN 6885

Sección de la lengüeta de ajuste resaca para chaveta: DIN 6885		ancho b altura h	
Para diámetro más de del eje d_1 hasta			
Ancho b *)	asiento fijo P 9		
Profundidad t_1 *)	asiento ligero N 9		
	con juego en el lomo o aprieto		
	dif. adm.		
Ancho b *)	asiento fijo P 9		
Profundidad t_1 *)	asiento ligero J 9		
	con juego en el lomo		
	con aprieto *)		
	dif. adm.		
d			
d_2 *)	mínima		
Chafilón o redondeado	r_1		
	dif. adm.		
Redondeo del fondo del chavetero	r_2		
	dif. adm.		
Longitud l_1 *)	dif. adm. Macho / Hembra		
8			
10			
12			
14			
16			
18			
20			
22			
24			
26			
28			

Uniones por llevar sin inclinación		Lengüetas de ajuste		forma alta		Dimensiones y aplicación																					
Medidas en mm																											
2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	25	28	32	36	40	45	50	56	63	70	80	90	100		
2	3	4	5	6	7	8	8	9	10	11	12	14	14	16	18	20	21	25	28	32	32	36	40	45	50		
6	8	10	12	17	22	30	38	44	50	58	65	75	85	95	110	130	150	170	200	230	260	290	330	380	440		
8	10	12	17	22	30	38	44	50	58	65	75	85	95	110	130	150	170	200	230	260	290	330	380	440	500		
2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	25	28	32	36	40	45	50	56	63	70	80	90	100		
1,1	1,7	2,4	2,9	3,5	4,1	4,7	4,9	5,5	6,2	6,8	7,4	8,5	8,7	9,9	11,1	12,3	13,5	15,3	17	19,3	19,6	22	24,6	27,5	30,4		
		+0,1								+0,2											+0,3						
2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	25	28	32	36	40	45	50	56	63	70	80	90	100		
1	1,4	1,7	2,2	2,6	3	3,4	3,2	3,6	3,9	4,3	4,7	5,6	5,4	6,2	7,1	7,9	8,7	9,9	11,2	12,9	12,6	14,2	15,6	17,2	19,8		
		+0,1										+0,2										+0,3					
0,6	1	1,3	1,8	2,1	2,4	2,8	2,6	2,9	3,2	3,5	3,9	4,8	4,6	5,4	6,1	6,9	7,7	8,9	10,1	11,8	11,5	13,1	14,5	16,4	18,7		
			+0,1											+0,2								+0,3					
0,8	1,2	1,6	2	2,5	3	3	3	3,5	4	4,5	5	5,5	5,5	6,5	7	8	9	10	11	13	13	14	16	18	20		
$d_1+2,5$	$d_1+3,5$	d_1+4	d_1+5	d_1+6	d_1+7	d_1+8	d_1+8	d_1+9	d_1+10	d_1+11	d_1+12	d_1+14	d_1+14	d_1+16	d_1+16	d_1+20	d_1+22	d_1+25	d_1+27	d_1+32	d_1+32	d_1+35	d_1+40	d_1+45	d_1+50		
	0,2			0,4				0,5			0,6			0,8		1		1,2		1,6			2,5				
	+0,1							+0,2						+0,3						+0,4			+0,5				
	0,2			0,4				0,5			0,6			0,8		1		1,2		1,6			2,5				
	+0,1							+0,2						+0,3						+0,4			+0,5				
								-0,2						-0,3						-0,4			-0,5				
Peso 7,85 (kg/dm ³) para forma B (kg/1000 ≈ ?)																											
0,188	0,423																										
0,251	0,665	1,01																									
0,314	0,707	1,28	1,95																								
0,377	0,848	1,51	2,35																								
0,440	0,989	1,75	2,75	3,94																							
0,502	1,13	2,01	3,14	4,52																							
0,565	1,27	2,25	3,53	5,09	7,93																						
0,628	1,41	2,51	3,92	5,65	8,80																						
	1,65	2,75	4,32	6,22	9,07	13,8																					
	1,77	3,14	4,91	7,07	11,0	16,7																					
	1,98	3,62	5,50	7,91	12,2	17,6	21,1																				

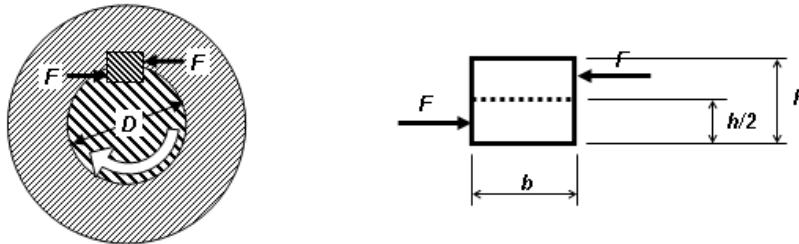


Figura 3.12. Modelo para cálculo de unión por chaveta

Datos

$$D = 16\text{mm}$$

$$h = 5\text{mm}$$

$$b = 5\text{mm}$$

Límite de fluencia

Las chavetas por norma (DIN 6885) son fabricadas de acero St60, por lo que su valor para la fluencia es:

$$S_y = 380 \text{MPa}$$

Factor de seguridad

$$s = 1.5$$

$$F = \frac{2 \times T}{D}$$

$$F = \frac{2 \times 23}{16 \times 10^{-3}} = 2.85 \text{N}$$

Análisis de fallo por cizallamiento

Según el criterio de Tresca, la longitud "l" de la chaveta debe cumplir la siguiente ecuación:

$$l \geq \frac{4 \times T \times s}{D \times b \times S_y}$$

$$l \geq \frac{4 \times 23 \times 1,5}{16 \times 10^{-3} \times 5 \times 10^{-3} \times 380 \times 10^6}$$

$$l \geq \frac{4 \times T \times s}{D \times b \times S_y}$$

$$l \geq 4.539 \times 10^{-3} \text{m} = 4.539 \text{mm}$$

Análisis de fallo por aplastamiento

Se calcula de manera similar al caso anterior

$$l \geq \frac{4 \times T \times s}{D \times h \times S_y}$$

$$l \geq \frac{4 \times 23 \times 1,5}{16 \times 10^{-3} \times 5 \times 10^{-3} \times 380 \times 10^6}$$

$$l \geq 4.539 \times 10^{-3} \text{m} = 4.539 \text{mm}$$

Por lo tanto, se determina que el largo mínimo de la chaveta para el eje de la mesa basculante, redondeando a los milímetros, debe ser de al menos 6mm.

3.5.8 Cálculo de unión soldada

Así como se calculó en el paso anterior para seleccionar las dimensiones adecuadas para la chaveta a utilizar, también se debe considerar el caso más crítico de una unión soldada, la cual se realizará entre un eje de 16mm y la mesa basculante. A continuación, se muestra un modelo para el cálculo de esta unión.

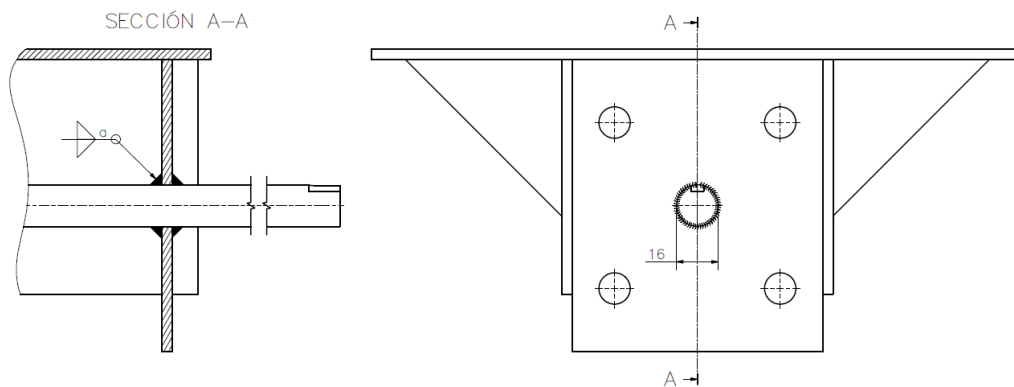


Figura 3.13. Modelo para cálculo de unión soldada

Según el modelo presentado y la norma ISO 2553, se hará el cálculo de una unión en ángulo. Para ello, debemos considerar los siguientes factores.

Tabla 3.2 Factor de carga estática en elementos de máquina

TIPO DE UNIÓN	ESFUERZO	V1
A TOPE	Tracción	1.0
	Compresión	1.0
	Flexión	1.0
	Corte	0.8
EN ÁNGULO	Todos los esfuerzos	0.8

Tabla 3.3 Factor de calidad de la soldadura

CALIDAD	V2
I	1.0
II	0.8
III	0.5

Como ya se mencionó el tipo de unión, el primer factor es de 0.8, y además se puede ver en las tablas técnicas del acero inoxidable (ver anexos), que para el caso del acero de serie 304 hay una muy buena soldabilidad, por lo que podemos considerar una calidad de 1,0. Se tomará en cuenta un factor de seguridad de 1.2.

Otro aspecto a considerar es que, dado que la mesa basculante no realizará movimientos bruscos, con poca velocidad y con poca frecuencia en sus movimientos, se idealizará el cálculo para un esfuerzo estático. Para ello, se toman los siguientes datos.

Datos

Esfuerzo límite a fluencia acero AISI 304: $\sigma_F = 206N/mm^2$

Torque máximo: $M_T = 23N.m = 23000N.mm$

Factor por tipo de unión: $v_1 = 0.8$

Factor de calidad: $v_2 = 1.0$

Factor de seguridad: $FS = 1.2$

Cálculos

Esfuerzo admisible:

$$\sigma_{adm} = v_1 \times v_2 \times \frac{\sigma_F}{FS}$$

$$\sigma_{adm} = 0.8 \times 1.0 \times \frac{206}{1.2}$$

$$\sigma_{adm} = 137.33N/mm^2$$

Esfuerzo de corte por torsión:

Nota: Se considera el cordón de soldadura por ambos lados, por lo que el momento polar es el doble.

$$J = 2 \times \frac{\pi}{32} \times (D_e^4 - D_i^4)$$

$$J = 2 \times \frac{\pi}{32} \times ((16 + 2a)^4 - 16^4)$$

$$\tau_{\perp} = \frac{M_T \times r_e}{J}$$

$$\tau_{\perp} = \frac{23000 \times (8 + a)}{2 \times \frac{\pi}{32} \times ((16 + 2a)^4 - 16^4)}$$

$$\tau_{\perp} = 1.171 \times 10^5 \times \frac{(8 + a)}{((16 + 2a)^4 - 16^4)}$$

Esfuerzo equivalente:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 1.8 \times (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)}$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{1.8 \times \left(1.171 \times 10^5 \times \frac{(8 + a)}{((16 + 2a)^4 - 16^4)}\right)^2}$$

Si consideramos a = 3, entonces:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{1.8 \times \left(1.171 \times 10^5 \times \frac{(8 + 3)}{((16 + 2 \times 3)^4 - 16^4)}\right)^2}$$

$$\sigma_{eq} = 10.24 \text{ N/mm}^2$$

Verificamos si se cumple que:

$$\sigma_{eq} < \sigma_{adm}$$

$$10.24 < 137.33$$

Si se cumple, por lo que un cordón de soldadura de espesor 3mm sería más que suficiente para soportar el torque que recibe la mesa basculante.

3.5.9 Análisis de resistencia de mesa base por MEF

La mesa que soportará la carga de la mayoría de estructuras es una fabricada con tubos y planchas de acero inoxidable, y su forma sería como la presentada en la siguiente imagen.

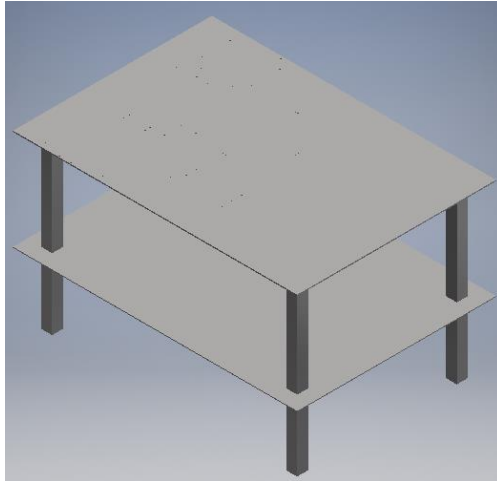


Figura 3.14. Mesa base

Para este modelo, supondremos como una carga puntual en el medio al peso total que soportará, que para este ejemplo será de 50kg, lo cual es relativamente sobredimensionado. A continuación, se muestran los resultados obtenidos respecto a los esfuerzos que se dan y la deformación.

En cuanto al análisis de esfuerzos obtenido, de tipo Von Mises, se ve que la plancha superior no sufre mayores esfuerzos a 7MPa, mientras que la concentración de esfuerzos se da en las uniones de los tubos cuadrados con la plancha, sin embargo, estos esfuerzos son ligeramente mayores a 20MPa, lo cual no es significativo considerando que el acero tiene un límite de fluencia en las centenas de MPa.

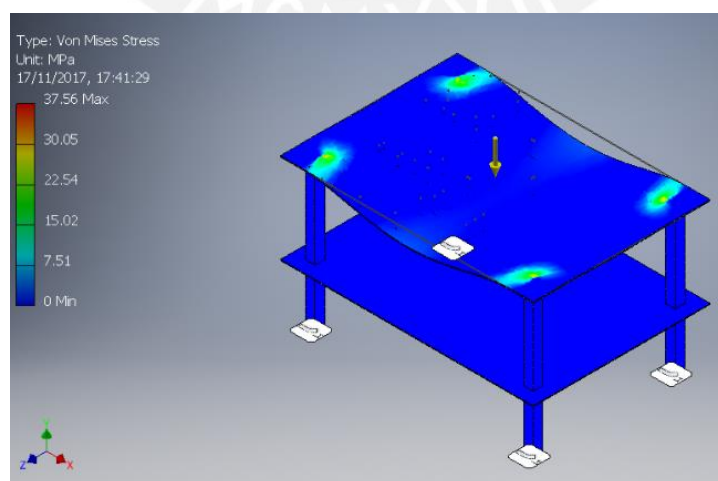


Figura 3.15. Análisis de esfuerzos Von Mises

Respecto a la deformación, se ve que, si se considera toda la carga como puntual en el medio de la plancha superior, no habrá una deformación mayor a 1,3mm, por lo que si en la realidad el sistema tuviese todo su peso distribuido a lo largo de la plancha, este valor se verá reducido exponencialmente.

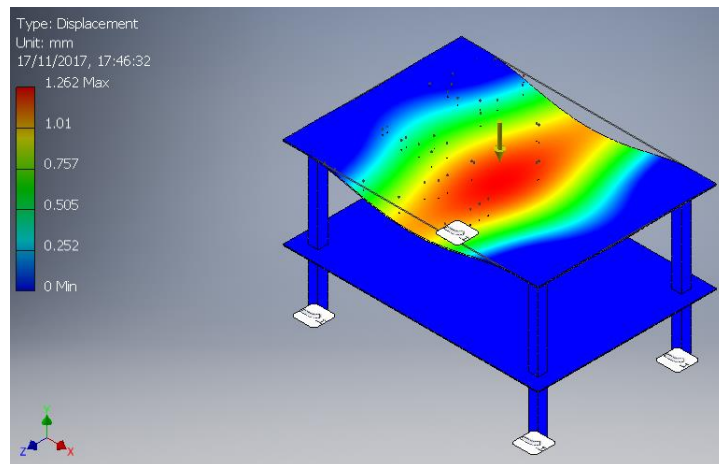


Figura 3.16. Análisis de deformación

3.6 Selección de materiales y componentes

3.6.1 Materiales de fabricación

Para este caso, como el trabajo a realizar va a involucrar interactuar con un paciente una prioridad debe ser el uso de materiales para uso médico. Algunos de los materiales utilizados para aceros quirúrgicos son el acero inoxidable AISI 304 y AISI 308L. Para este caso, se utilizará el AISI 304.

Tabla 3.4. Especificaciones AISI 304

Especificaciones	
Densidad (g/cm ³)	7.93
Punto de fusión (°C)	1400-1455
Alargamiento (%)	<60
Dureza Brinell (HB)	160-190
Impacto Izod (J/m)	20-136
Módulo de elasticidad (GPa)	190-210
Resistencia a la tracción (MPa)	460-1100

Además, para la fabricación de algunos componentes como uniones, acoples, entre otros que no están tan expuestas al contacto con el paciente, también se ha decidido utilizar aluminio al ser un material no tóxico, de la serie AA4XXX, específicamente el 4032, que es uno de los más comunes de conseguir en el mercado. El esfuerzo máximo de esta serie varía entre 175MPa y 380MPa.

Por último, para los casos de piezas muy complejas para manufacturar en metales pero que no van a ser sometidas a esfuerzos significativos, se ha optado por la opción de impresión 3D, en el que se utilizará filamento PLA, el cual ofrece una mayor resistencia que el ABS que es el más común.

Tabla 3.5. Especificaciones PLA

Propiedades mecánicas	Impresión vertical		Impresión horizontal	
	50%	100%	50%	100%
Densidad de impresión				
Resistencia a la tracción máxima (MPa)	13.6 ± 2.6	28.8 ± 4.2	24.1 ± 0.6	38.1 ± 0.9
Esfuerzo de fluencia (MPa)	13.4 ± 2.5	28.6 ± 4.1	23.9 ± 0.7	36.3 ± 1.2
Elongación al esfuerzo máximo (%)	0.7 ± 0.2	1.1 ± 0.3	2.2 ± 0.1	2.1 ± 0.0
Elongación al esfuerzo de fluencia (%)	0.7 ± 0.2	1.1 ± 0.3	2.4 ± 0.1	2.8 ± 0.2
Resistencia a la tracción relativa (Mpa/g)	1.5 ± 0.3	2.4 ± 0.4	2.7 ± 0.1	3.3 ± 0.1
Módulo de Young (MPa)	2028 ± 59	3150 ± 54	1760 ± 38	2852 ± 88

Una vez completados los cálculos mostrados anteriormente, podemos seleccionar los componentes adecuados para el sistema. A continuación, se da una breve descripción de los actuadores y sensores por los que se ha optado.

3.6.2 Actuadores

Motor a pasos bipolar NEMA 34

Se ha seleccionado este motor para el movimiento de la mesa basculante. Este modelo de eje simple, según especificaciones de la empresa ORIENTAL MOTOR, permite una alta resolución dado que puede girar su eje 1.8° de movimiento angular por paso. Este motor ofrece 9.5Nm de torque máximo, y como se mencionó en la memoria de cálculo para el cálculo de la mesa basculante, se requiere un torque de 23Nm. Por ello, se diseñará una relación de transmisión mediante engranajes, con relación 1:3, para obtener en la salida un torque máximo de aproximadamente 28.5Nm. Dado el amperaje que se requiere por fase, se utiliza un driver VNH5019 el cual admite corrientes de hasta 30A .

Tabla 3.6. Especificaciones NEMA 34

Propiedad	Dato
Ángulo/paso	1.8°
Torque máximo	9.5Nm
Corriente por fase (max)	4.5A
Voltaje	3.5V
Conexión	Bipolar

Tabla 3.7. Especificaciones generales driver VNH5019

Motor driver:	VNH5019
Motor channels:	1
Minimum operating voltage:	5.5 V
Maximum operating voltage:	$24 V^3$
Continuous output current per channel:	12 A
Peak output current per channel:	30 A
Current sense:	0.14 V/A
Maximum PWM frequency:	20 kHz
Reverse voltage protection?:	γ^4



Figura 3.17. NEMA 34



Figura 3.18. Driver VNH5019

Motor a pasos bipolar NEMA 17

Para la mayoría de movimientos, se requieren de torques pequeños a comparación del torque de la mesa basculante, como se aprecia en la memoria de cálculo. Para los demás casos, basta con el modelo NEMA 17, también bipolar, con una resolución de 1.8° por paso y con un torque máximo de 0.58Nm . Dado el amperaje máximo que necesita, se requiere un driver A988, el cual puede soportar amperajes de hasta 2A .

Tabla 3.8. Especificaciones NEMA 17

Propiedad	Dato
Ángulo/paso	1.8°
Torque máximo	0.58Nm
Corriente por fase (max)	1.5A
Voltaje	3.6V
Conexión	Bipolar

Tabla 3.9. Especificaciones eléctricas driver A4988

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Load Supply Voltage	V_{BB}		35	V
Output Current	I_{OUT}		± 2	A
Logic Input Voltage	V_{IN}		-0.3 to 5.5	V
Logic Supply Voltage	V_{DD}		-0.3 to 5.5	V
V_{BBx} to $OUTx$			35	V
Sense Voltage	V_{SENSE}		0.5	V
Reference Voltage	V_{REF}		5.5	V
Operating Ambient Temperature	T_A	Range S	-20 to 85	°C
Maximum Junction	$T_J(max)$		150	°C
Storage Temperature	T_{stg}		-55 to 150	°C



Figura 3.19. NEMA 17

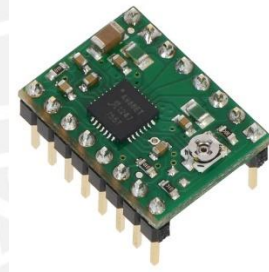


Figura 3.20. Driver A4988

Servomotor MG995

Para el movimiento de los brazos de sujeción para el tubo y el algodón, dado que se requiere de un torque bajo y además se busca utilizar un actuador de dimensiones y peso menor a los mencionados anteriormente, de opta por un servomotor MG995.

Tabla 3.10. Especificaciones servomotor MG995

Propiedad	Dato
Peso	55g
Torque máximo	0.98Nm
Velocidad de operación	0.16s/60°
Voltaje	6V
Ancho de banda muerta	0.005ms
Temperatura de operación	0-55°C



Figura 3.21. Servomotor MG995

Servomotor SG90

Para el cerrar y abrir las garras de sujeción, lo cual se piensa hacer mediante el uso de engranajes, el actuador a utilizar sería un servomotor SG90, ya que esta acción no requiere de una potencia significativa.

Tabla 3.11. Especificaciones servomotor SG90

Propiedad	Dato
Peso	9g
Torque máximo	0.18Nm
Voltaje	4.8V
Temperatura de operación	0-55°C
Ancho de banda muerta	0.001ms



Figura 3.22 Servomotor SG90

Actuador lineal PQ12

Cuando se sujeta el tubo al vacío, el tubo mismo no está acoplado a la aguja, se encuentran ligeramente separados. Para unirlos, se utiliza el actuador lineal de la empresa ACTUONIX, el cual tiene la ventaja de ser compacto. La misma empresa proporciona el driver para el uso de este actuador, el driver LAC board. Además, existe una versión del actuador (PQ12-R) el cual se puede controlar sin necesidad del driver mediante ondas PWM.

Tabla 3.12. Especificaciones actuador lineal PQ12

PQ12 Specifications			
<u>Gearing Option</u>	<u>30:1</u>	<u>63:1</u>	<u>100:1</u>
Peak Power Point	15N@15mm/s	30N @ 8mm/s	40N @ 6mm/s
Peak Efficiency Point	8N @ 20mm/s	12N@12mm/s	20N @ 8mm/s
Max Speed (no load)	28mm/s	15mm/s	10mm/s
Max Force (lifted)	18N	45N	50N
Max Side Load	5N	10N	10N
Back Drive Force	9N	25N	35N
Stroke	20 mm		
Input Voltage	6 or 12 VDC		
Stall Current	550mA @ 6V, 210mA @ 12V		
Mass	15g		
Operating Temperature	-10°C to +50°C		
Positional Repeatability	±0.1mm		
Mechanical Backlash	0.25 mm		
Audible Noise	55dB @ 45cm		
Ingress Protection	IP-54		

Tabla 3.13. Especificaciones driver LAC board

Specifications	
Control input modes	Digital: USB, RC Servo, 1 kHz PWM Analog: 0–3.3 V, 4–20 mA
Controller	10-bit Dual Sample Rate Quasi PD
Compatible actuators	PQ12 & L12 -P Actuators with position feedback, 6 or 12 volts L16, P16 & T16 -P Actuators with position feedback, 6 or 12 volts Larger Actuators with position feedback, 12 volts, 24 volts
Dimensions	50 mm x 50 mm (excluding battery holder)
Power	5–24 VDC, 4 Amps peak current at 10% duty cycle
Operating environment	–10 to +70°C at 10–80% relative humidity



Figura 3.23. Actuador lineal PQ12

3.6.3 Sensores

Requerimientos de los sensores

- Cámara para la verificación de espacio disponible en almacenamiento: Se requiere de una cámara compacta, que pueda distinguir entre colores, con una resolución decente para una distancia menor a 20cm. Para ello, supongamos que el área aproximada para visualizar los tubos es de 10cm x 10cm, y nos apoyaremos en la siguiente tabla y una fórmula para hallar la resolución adecuada.

Tabla 3.14. Resolución en puntos por pulgada (ppp) según distancia

Distancia de visión	Resolución máxima apreciada por el ojo
20cm	381ppp
25cm	305ppp
30cm	254ppp
40cm	191ppp
50cm	152ppp
60cm	127ppp
70cm	109ppp
80cm	95ppp
90cm	85ppp
1m	76ppp
1.2m	64ppp
1.4m	54ppp
1.6m	48ppp
1.8m	42ppp

Ahora aplicando las siguientes fórmulas:

$$\text{Píxeles largo} = \text{Largo}(cm) \times \frac{\text{Resolución}(ppp)}{2.54}$$

$$\text{Píxeles ancho} = \text{Ancho}(cm) \times \frac{\text{Resolución}(ppp)}{2.54}$$

$$\text{Píxeles} = \text{Píxeles largo}(cm) \times \text{Píxeles ancho}(cm)$$

$$\text{Píxeles largo} = 10 \times \frac{381}{2.54} = 1500\text{píxeles}$$

$$\text{Píxeles ancho} = 10 \times \frac{381}{2.54} = 1500\text{píxeles}$$

$$\text{Píxeles} = 1500 \times 1500 = 2.25\text{Mpx}$$

Por lo tanto, se requiere que la cámara a utilizar sea capaz de dar al menos una resolución de 2.25Mpx.

- Cámara para la visualización de las venas: Para este caso se requiere de una cámara que al igual que en el caso anterior sea compacta, sin embargo, la resolución queda en un segundo plano ya que la prioridad es que sea capaz de detectar las venas del brazo, lo cual, como se explicó en el estado del arte, se puede lograr en el espectro infrarrojo, por lo que esta cámara debe ser una infrarroja. Esta cámara debe ser capaz de distinguir la diferencia térmica entre la capa externa de la piel y las venas, siendo la temperatura usual de la primera de aproximadamente 33°C y la de la segunda de 37°C.
- Sensor de proximidad para cambio de velocidad: Para el sistema de punción, se requiere de un sensor que indique el cambio de velocidad del sistema cuando la aguja se aproxime a la zona de punción del brazo. Este sistema en un primer momento debe moverse de forma rápida, pero cuando la distancia del efector final (aguja) al brazo es de alrededor de 2cm, debe cambiar a una velocidad menor.

- Sensor de fuerza: Por cuestiones de seguridad, se requiere de un sensor que detecte la presión que ejerce el brazo del paciente sobre el soporte en el que lo apoyará, de manera que previo a ser presionado, los actuadores de mayor potencia estén bloqueados, para que así no ocurran movimientos imprevistos. El área de este sensor debe ocupar al menos 4cm x 4cm y debe ser capaz de detectar 16N, dado que en promedio un brazo pesa 1.6kg.

Una vez tomado en cuenta todas las consideraciones mencionadas, a continuación, se presentan los componentes seleccionados los cuales cumplen estos requerimientos.

Cámara Raspberry Pi V2

Se utiliza esta cámara para la detección de los tubos en el sistema de almacenamiento en caso de que este lleno, es decir, si todos los tubos han sido utilizados.

Especificaciones:

- Resolución Mejorada
 - 8 Mpx de resolución nativa de alta calidad sensor de imagen Sony IMX219
 - Cámara capaz de imágenes estáticas de 3280 x 2464 pixeles
- Restante de alta calidad
 - Captura de vídeo a resoluciones de 1080p30, 720p60 y 640x480p90
 - Todo el software está soportado dentro de la última versión del sistema operativo Raspbian
 - 1.4 μm X 1.4 μm pixel with OmniBSI technology for high performance (high sensitivity, low crosstalk, low noise)
 - Tamaño óptico de 1/4 “

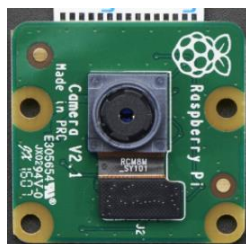


Figura 3.24. Cámara Raspberry Pi V2

Cámara infrarroja FLiR Dev Kit

Para la detección de las venas en el brazo del paciente, se utiliza esta cámara. Dado que detecta hasta diferencias típicas de 20 mili Kelvin, podrá detectar la diferencia de temperatura entre la epidermis y la vena, estando la primera a una temperatura normal de 33°C y la segunda normalmente a 37°C.

Tabla 3.15. Especificaciones sobre imagen del FLiR Dev Kit

Parameter	Description	Value
NETD	Noise Equivalent Temperature Difference (random temporal noise)	<50 mK (20 mK typical)
Intrascene Range	Minimum and maximum scene temperature	0 K to >400 K
Operability	Number of non-defective pixels	>99.0% (<1 defect typical)
Clusters	Number of adjacent defective pixels "Adjacent" means any of the 8 nearest neighbors (or nearest 5 for an edge pixel, nearest 3 for a corner).	Unallowed ¹

Tabla 3.16. Especificaciones eléctricas del FLiR Dev Kit

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Units
VDDC	Core Voltage (primary power for the Lepton internal ASIC)	1.14	1.20	1.26	Volts
VDD	Sensor Voltage (primary power for the Lepton internal sensor chip)	2.72	2.80	2.88	Volts
VDDIO	I/O Voltage (primary power for the Lepton I/O ring)	2.5	—	3.1	Volts
I_DDC	Supply current for core (VDDC)	76	84	110	mA
I_DD	Supply current for sensor (VDD)	12	14	16 ¹	mA
I_DDIO	Supply current for I/O ring (VDDIO)	1	2	4	mA



Figura 3.25. Cámara FLiR Dev Kit

Sensor de proximidad capacitivo LJC30A3-H-Z/BX

Cuando el sistema de punción se aproxima al brazo, se requiere de un sensor que detecte la distancia, para ello se utiliza este sensor, con una capacidad de detección de hasta 20mm.

Especificaciones técnicas:

- Voltaje de operación: 6-36V DC
- Corriente de operación: 20mA máx.
- Corriente de salida: 300mA máx.
- Rango de detección: 3-20mm
- Salida: Tipo NPN (Normalmente abierto)
- Temperatura de operación: -25 – 70°C



Figura 3.26. Sensor capacitivo LJC30A3-H-Z/BX

Limit switch D2F-L

Para detectar una posición de origen para los movimientos en X y Y del sistema de punción, además de un sensor para determinar cuando el sistema se encuentra al costado de los subsistemas de almacenamiento y rotulado, se utiliza este sensor.

Especificaciones

- Voltaje de operación: 6V
- Amperaje máximo: 4^a
- Capacidad directa/inversa
- Función On/Off



Figura 3.27. Limit Switch D2F-L

Sensor óptico infrarrojo CNY70

Se utiliza este sensor para definir un punto de referencia en los actuadores internos a subsistemas cuando estos rotan, como en el caso del motor de la base giratoria en el sistema de punción, del motor de la mesa basculante y el motor del sistema de almacenamiento.

Tabla 3.17. Especificaciones CNY70

Absolute Maximum Ratings

Input (Emitter)

Parameter	Test Conditions	Symbol	Value	Unit
Reverse voltage		V_R	5	V
Forward current		I_F	50	mA
Forward surge current	$t_p \leq 10 \text{ ms}$	I_{FSM}	3	A
Power dissipation	$T_{amb} \leq 25^\circ\text{C}$	P_V	100	mW
Junction temperature		T_j	100	$^\circ\text{C}$

Output (Detector)

Parameter	Test Conditions	Symbol	Value	Unit
Collector emitter voltage		V_{CEO}	32	V
Emitter collector voltage		V_{ECO}	7	V
Collector current		I_C	50	mA
Power dissipation	$T_{amb} \leq 25^\circ\text{C}$	P_V	100	mW
Junction temperature		T_j	100	$^\circ\text{C}$



Figura 3.28. Sensor óptico infrarrojo CNY70

Sensor de presión FSR-406

Se requiere de un sensor para bloquear a los actuadores a menos que el paciente coloque el brazo en el soporte del sistema. Para ello, se utiliza el FSR-406, el cual cumple los requerimientos mencionados anteriormente.

Tabla 3.18. Especificaciones FSR-406

Feature	Condition	Value*	Notes
Actuation Force		0.1 Newtons	
Force Sensitivity Range		0.1 - 10.0 ² Newtons	
Force Repeatability³	(Single part)	± 2%	
Force Resolution³		continuous	
Force Repeatability³	(Part to Part)	±6%	
Non-Actuated Resistance		10M W	
Size		43.69 x 43.69mm	
Thickness Range		0.2 - 1.25 mm	
Stand-Off Resistance		>10M ohms	Unloaded, unbent
Switch Travel	(Typical)	0.05 mm	Depends on design
Hysteresis³		+10%	$(R_{F+} - R_{F-})/R_{F+}$
Device Rise Time		<3 microseconds	measured w/steel ball
Long Term Drift		<5% per log ₁₀ (time)	35 days test, 1kg load
Temp Operating Range	(Recommended)	-30 - +70 °C	
Number of Actuations	(Life time)	10 Million tested	Without failure

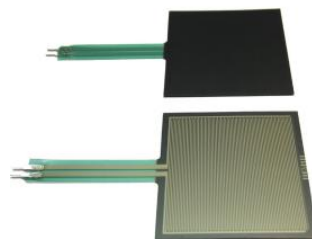


Figura 3.29. Sensor de presión FSR-406

Fuente switching 12V 15A

Para alimentar los sensores y actuadores mencionados, se ha considerado utilizar una fuente switching de 12V 15A, considerando que en el caso extremo de consume de energía se utilicen los actuadores del sistema de punción (2 NEMA 17 y 4 servomotores) y el actuador de la mesa basculante (NEMA 34) además de los sensores, no suman más de 10 amperios.

Especificaciones:

- Potencia máxima: 180W
- Voltaje de entrada: 220V AC
- Frecuencia de entrada: 60Hz
- Voltaje de salida: 12V
- Corriente máxima de salida: 15A



Figura 3.30. Fuente switching 12V 15A

Fuente switching 5V 3A

De forma similar al caso anterior, se requiere de una fuente de energía para energizar los microcontroladores y el funcionamiento de otros actuadores más pequeños como los servomotores y sensores como los limit switches. Para ello, se utiliza una fuente con las siguientes especificaciones.

Especificaciones:

- Potencia máxima: 15W
- Voltaje de entrada: 220V AC

- Frecuencia de entrada: 60Hz
- Voltaje de salida: 5V
- Corriente máxima de salida: 3A



Figura 3.31. Fuente switching 5V 3A

Microcontroladores

Para el control de los componentes mencionados anteriormente, se requiere de más de un microcontrolador dada la gran cantidad de actuadores y sensores que se tendrán.

Para las acciones de obtención de imágenes, se utilizará un microcontrolador Raspberry Pi 3, dado su mejorada capacidad de procesamiento de imágenes en relación a sus modelos anteriores, teniendo 1,2GHz. Posee también una gran capacidad de memoria RAM, de 1GB. Por último, al tener que trabajar las imágenes en una interfaz por computadora, este módulo posee 2 conectores USB.

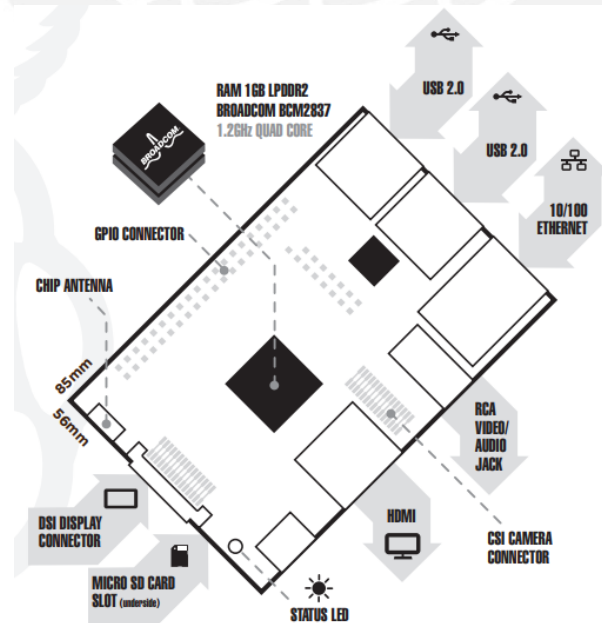


Figura 3.32. Especificaciones generales Raspberry Pi 3



Figura 3.33. Tarjeta Raspberry Pi 3

Para la mayoría de actuadores que requieren entradas y salidas digitales/analógicas, se utilizará un Tiva Launchpad C Series TM4C123G, un microcontrolador de 32bits, el cual tiene una gran capacidad de procesamiento lo cual. Además, posee varios pines los cuales pueden realizar un control de PWM.

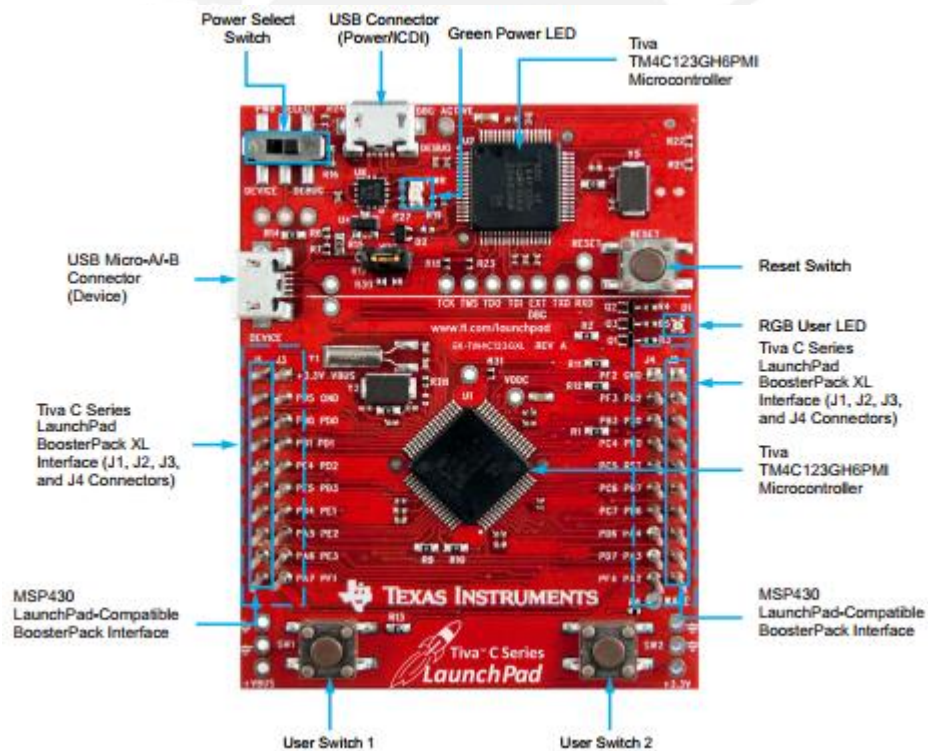


Figura 3.34. Tarjeta Tiva Launchpad TM4C123GX

3.7 Planos

Para la realización del diseño propuesto, se ha dividido el sistema en varios subsistemas. A continuación, se presentará una mención general de los planos realizados, con la indicación E para indicar que es un ensamble, y D para indicar que es un despiece.

1. ROBOT DE TOMA Y ROTULADO DE MUESTRAS DE SANGRE (E)

1.1 MESA BASE (E)

1.1.1 PLACA RECTANGULAR BASE SUPERIOR (D)

1.1.2 PERFIL CUADRADO MESA (D)

1.1.3 PLACA RECTANGULAR BASE INFERIOR (D)

1.2 SISTEMA DE ROTULADO (E)

1.2.1 PLACA FRONTAL/POSTERIOR (D)

1.2.2 PLACA LATERAL (D)

1.2.3 PLACA BASE INFERIOR (D)

1.2.4 SOPORTE DE SERVOMOTOR (D)

1.2.5 SOPORTE BASE TUBO (D)

1.2.6 SOPORTE GUÍA ETIQUETA (D)

1.2.7 PLACA BASE SUPERIOR (D)

1.2.8 PLACA PARA EMPUJE (D)

1.2.9 SOPORTE PARA ACTUADOR LINEAL (E)

1.2.9.1 SOPORTE LATERAL (D)

1.2.9.2 SOPORTE BASE (D)

1.3 SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE TUBOS (E)

1.3.1 SOPORTE INFERIOR (E)

1.3.1.1 PLACA INFERIOR CON DOBLEZ TUBULAR (D)

1.3.1.2 PLACA INFERIOR (D)

1.3.2 SOPORTE DE TUBOS (E)

1.3.2.1 PLACA CIRCULAR DE SOPORTE DE TUBOS (D)

- 1.3.2.2 ACOPLE CILÍNDRICO (D)
- 1.3.3 SOPORTE DE AGUJAS (E)
 - 1.3.3.1 PLACA CIRCULAR DE SOPORTE DE AGUJAS (D)
 - 1.3.3.2 ACOPLE CILÍNDRICO (D)
- 1.3.4 PLACA SUPERIOR (D)
- 1.3.5 SOPORTE SUPERIOR (E)
 - 1.3.5.1 PLACA SUPERIOR CON DOBLEZ TUBULAR (D)
 - 1.3.5.2 TAPA (D)
- 1.3.6 PLACA BASE (D)
- 1.3.7 PLACA DE UNIÓN EN L (D)
- 1.3.8 ACOPLE EJE Y RODAMIENTO AXIAL (D)
- 1.3.9 PLACA DE UNIÓN A MESA (D)
- 1.3.10 BASE DE RODAMIENTO AXIAL (D)
- 1.4 SISTEMA DE PUNCIÓN (E)
 - 1.4.1 ALMACENAMIENTO DE ALGODÓN (E)
 - 1.4.1.1 ESTRUCTURA SOLDADA PARA ALGODÓN (E)
 - 1.4.1.1.1 PLACA CUADRADA BASE ALGODÓN (D)
 - 1.4.1.1.2 PLACA CIRCULAR SOPORTE ALGODÓN (D)
 - 1.4.1.1.3 TUBO CIRCULAR SOPORTE DE ALGODÓN (D)
 - 1.4.2 BRAZO DE SUJECIÓN DE ALGODÓN (E)
 - 1.4.2.1 BLOQUE SOPORTE DE BRAZO (D)
 - 1.4.2.2 PLACA SOPORTE DE SERVOMOTOR (D)
 - 1.4.2.3 PINZA DE SUJECIÓN (E)
 - 1.4.2.3.1 PLACA SUJECIÓN ALGODÓN (D)
 - 1.4.2.3.2 TUBO 13X10X2 (D)
 - 1.4.2.4 ENGRANAJE TRANSMITIDO SUJECIÓN (D)
 - 1.4.2.5 ENGRANAJE TRANSMISOR SUJECIÓN (D)
 - 1.4.3 PLACA BASE ROTATORIA (D)

- 1.4.4 SOPORTE BASE SISTEMA DE PUNCIÓN (D)
- 1.4.5 ESTRUCTURA PARA SOPORTE BF (E)
 - 1.4.5.1 PLACA CUADRADA SOPORTE BF (D)
 - 1.4.5.2 TUBO CUADRADO SOPORTE BF (D)
 - 1.4.5.3 PLACA RECTANGULAR SOPORTE BF (D)
- 1.4.6 ACOPLER TAMBOR (D)
- 1.4.7 ENGRANAJE TRANSMITIDO MOVIMIENTO EJE X (D)
- 1.4.8 SOPORTE SERVOMOTR MG995 (D)
- 1.4.9 ENGRANAJE TRANSMISOR MOVIMIENTO EJE X (D)
- 1.4.10 HORQUILLA ACTUADOR LINEAL (D)
- 1.4.11 SOPORTE ACOPLER TUBO (E)
 - 1.4.11.1 ACOPLER DE TUBO (D)
 - 1.4.11.2 BARRA VERTICAL (D)
 - 1.4.11.3 ACOPLER A RIEL (D)
 - 1.4.11.4 BARRA HORIZONTAL (D)
- 1.4.12 RIEL (D)
- 1.4.13 BRAZO DE SUJECIÓN DE TUBO (E)
 - 1.4.13.1 ENGRANAJE TRANSMISOR SUJECIÓN (D)
 - 1.4.13.2 ENGRANAJE TRANSMITIDO SUJECIÓN (D)
 - 1.4.13.3 SUJECIÓN DE TUBOS AL VACÍO (E)
 - 1.4.13.3.1 BARRA DE UNIÓN (D)
 - 1.4.13.3.2 PLACA DE SOPORTE DE GARRA (D)
 - 1.4.13.3.3 MEDIO TUBO SUJECIÓN DE AGUJA (D)
 - 1.4.13.3.4 MEDIO TUBO SUJECIÓN DE TUBO AL VACÍO (D)
 - 1.4.13.4 SOPORTE BASE SUJECIÓN DE TUBOS (D)
 - 1.4.13.5 PLACA PARA UNIÓN SERVOMOTOR (D)
- 1.4.14 BASE MÓVIL EJE Y (D)
- 1.4.15 SUJECIÓN DE MOTOR DE GIRO (D)

- 1.4.16 SOPORTE SENSOR CAPACITIVO (E)
 - 1.4.16.1 TUBO CUBIERTA DE SENSOR CAPACITIVO (D)
 - 1.4.16.2 SOPORTE DE UNIÓN A BASE MÓVIL (D)
- 1.5 SOPORTE DE BRAZO (E)
 - 1.5.1 ESTRUCTURA SOLDADA SOPORTE BRAZO (E)
 - 1.5.1.1 SOPORTE TUBULAR (D)
 - 1.5.1.2 PLACA DE UNIÓN A MESA (D)
- 1.6 MESA BASCULANTE (E)
 - 1.6.1 SOPORTE CON GUÍAS LINEALES (E)
 - 1.6.1.1 PLACA BASE SOPORTE GUÍAS LINEALES (D)
 - 1.6.1.2 PLACA VERTICAL SOPORTE GUÍAS LINEALES (D)
 - 1.6.1.3 PLACA TRIANGULAR SOPORTE GUÍAS LINEALES (D)
 - 1.6.2 ESTRUCTURA SOLDADA MESA BASCULANTE (E)
 - 1.6.2.1 PLACA BASE MESA BASCULANTE (D)
 - 1.6.2.2 PLACA FRONTAL/POSTERIOR (D)
 - 1.6.2.3 PLACA TRIANGULAR (D)
 - 1.6.2.4 PLACA LATERAL (D)
 - 1.6.3 SOPORTE EJE MESA BASCULANTE (D)
 - 1.6.4 ENGRANAJE CÓNICO TRANSMITIDO (D)
 - 1.6.5 ENGRANAJE CÓNICO TRANSMISOR (D)
 - 1.6.6 SOPORTE BASE NEMA 34 (D)
- 1.7 ESTRUCTURA DE SENSORES (E)
 - 1.7.1 ESTRUCTURA SOLDADA SOPORTE SENSORES (E)
 - 1.7.1.1 SOPORTE BASE (D)
 - 1.7.1.2 SOPORTE SUPERIOR (D)
 - 1.7.1.3 SOPORTE VERTICAL (D)
 - 1.7.1.4 SOPORTE INFERIOR (D)
 - 1.7.1.5 SOPORTE TRIANGULAR (D)

1.7.2 SOPORTE DE SONDA LINEAL (D)

1.7.3 MESA MÓVIL EJE Z (D)

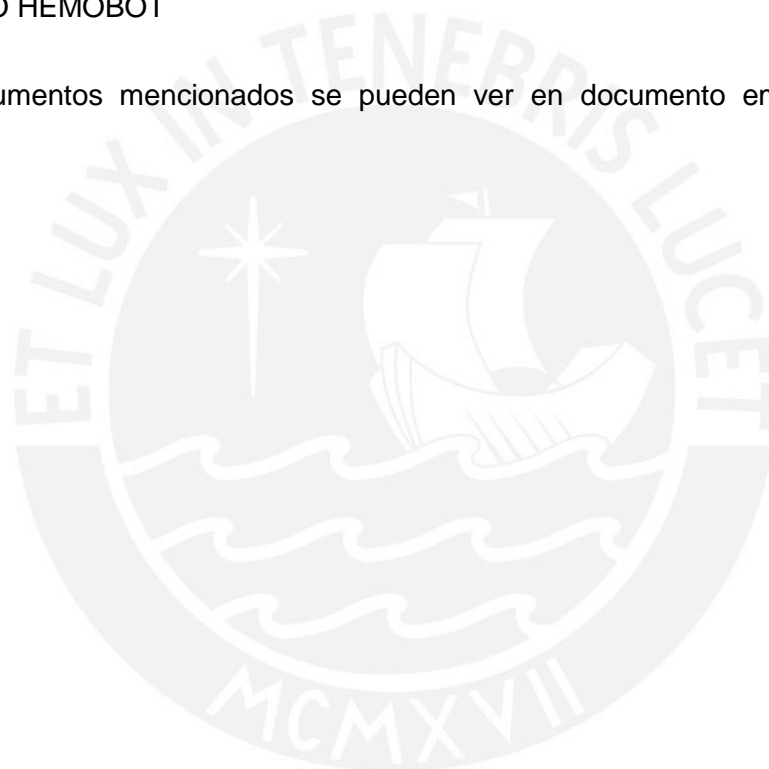
1.7.4 SOPORTE DE CÁMARA (D)

3.8 Esquemáticos

Para el diseño de las conexiones correspondientes, se ha realizado un esquemático el cual muestra las conexiones lógicas para los actuadores y sensores a utilizar con los microcontroladores mencionados anteriormente.

ESQUEMÁTICO HEMOBOT

Nota: Los documentos mencionados se pueden ver en documento empastado titulado “Planos”.



Capítulo 4

Presupuesto

Para la aproximación de los costos que involucran la realización de esta propuesta, se restringirá el uso a laboratorios médicos en hospitales, por lo que se omitirá el costo del ecógrafo y la computadora a utilizar.

4.1 Costo de componentes

En primera instancia, se presentará en las siguientes dos tablas los costos relacionados a componentes electrónicos y mecánicos.

Tabla 4.1. Costo de componentes electrónicos

Componente	Fabricante/Vendedor	Cantidad	Precio Unitario (US\$)	Precio (US\$)
Tiva TM4C123GX	Texas Instruments	1	12.99	12.99
Raspberry Pi 3	Sparkfun	1	39.95	39.95
Cámara infrarroja FLiR Dev Kit	Sparkfun	1	231.36	231.36
Cámara Raspberry Pi V2	Sparkfun	1	29.95	29.95
Sensor de presión FSR-406	Sparkfun	1	8.86	8.86
Sensor capacitivo LJC20A3-H-Z/BX	Naylamp Mechatronics	1	14.71	14.71
Limit Switch	Robotshop	2	1.79	3.58
Driver A4988	Pololu	5	5.95	29.75
Driver VNH5019	Pololu	1	24.95	24.95
Driver LAC Board	Actuonix	2	40	80
Motor a pasos NEMA 17	Orientalmotor	5	46.75	233.75
Motor a pasos NEMA 34	Orientalmotor	1	177.65	177.65
Actuado lineal PQ12	Actuonix	2	65	130
Servomotor MG995	Naylamp Mechatronics	3	10.29	30.87
Servomotor SG90	Naylamp Mechatronics	2	3.24	6.48
Impresora térmica P100	Cimic Technologies	1	178.13	178.13

Fuente switching 12V	PSM Technologies	1	29.69	29.69
Fuente switching 5V	PSM Technologies	1	19.69	19.69
Subtotal				1282.26

Tabla 4.2. Costo de componentes mecánicos

Componente	Fabricante/Vendedor	Cantidad	Precio Unitario (US\$)	Precio (US\$)
Rodamiento lineal SCS16UU	PSM Technologies	4	16.25	65
Rodamiento lineal SCS8UU	PSM Technologies	8	6.88	55.04
Acople flexible 5-8mm	PSM Technologies	3	4.06	12.18
Husillo de bolas SFU1605 250mm	PSM Technologies	1	29.95	29.95
Husillo trapezoidal T8 300mm	PSM Technologies	1	12.5	12.5
Guía lineal D8 300mm	PSM Technologies	5	9.38	46.9
Guía lineal D16 250mm	PSM Technologies	4	31.25	125
Soporte BF16	PSM Technologies	5	27.19	135.95
Anillo de retención axial D8	PSM Technologies	8	0.1	0.8
Chumacera KFL08	PSM Technologies	2	4.69	9.38
Riel U100 2m	Sodimac	1	8.29	8.29
Cremallera 70cm	Vex Robotics	1	24.78	24.78
Uniones (pernos,pines,etc)	PSM Technologies	-	-	50
Subtotal				575.77

4.2 Costo de manufactura

Otro aspecto a considerar es el costo de manufactura de las piezas a mecanizar. Tomando en cuenta que se realizarán piezas de acero ASTM A36, aluminio AL 4032 y acero inoxidable AISI 304, se presenta en la siguiente tabla un aproximado de los costos, dividiendo el sistema en subsistemas.

Tabla 4.3. Costos de manufactura

Sistema	Material	Costo (US\$)
Sistema de rotulado	ASTM A36	0.72
	AL 4032	-
	AISI 304	37.28
Sistema de almacenamiento de tubos	ASTM A36	1.17
	AL 4032	-
	AISI 304	68.42
Sistema de punción	ASTM A36	2.40
	AL 4032	1.60
	AISI 304	30.83
Soporte de brazo	ASTM A36	4.23
	AL 4032	-
	AISI 304	6.35
Mesa basculante	ASTM A36	-
	AL 4032	-
	AISI 304	49.61
Estructura de sensores	ASTM A36	-
	AL 4032	-
	AISI 304	33.47
Mesa base	ASTM A36	-
	AL 4032	-
	AISI 304	480.00
Subtotal		716.07

Por último, se presenta en la siguiente tabla el resumen del costo total que involucraría la fabricación del sistema propuesto.

Tabla 4.4. Resumen de costos

Tipo de costo	Costo (US\$)	Costo (S/.)
Componentes electrónicos	1282.36	4167.67
Componentes mecánicos	575.77	1871.25
Manufactura	716.07	2327.23
Total	2574.2	8366.15

Capítulo 5

Conclusiones

Tras el desarrollo del presente trabajo, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- Se ha diseñado un sistema con varios grados de libertad, los necesarios para realizar las diversas funciones del sistema. Dicho sistema consta de tres subsistemas principales: el subsistema de punción cuenta con 5 grados de libertad, el subsistema de almacenamiento consta de 1 libertad, y el sistema de rotulado con 2 grados de libertad. Además, la estructura para el posicionamiento de la cámara infrarroja y el transductor del ecógrafo tiene 1 grado de libertad.
- El sistema permite la obtención de muestras de sangre rotuladas y almacenarlas de forma ordenada. Tras realizar la acción de punción y una vez obtenida la muestra sanguínea, se procede a acercarla a sistema de rotulado, donde se deja reposar la muestra unos instantes mientras se imprime la etiqueta con los datos del paciente y se envuelve la muestra con dicha etiqueta, para que luego el mismo sistema la recoja y posicione en su almacenamiento final.
- El diseño presenta una precisión importante para la acción de punción de un vaso sanguíneo. El avance de la aguja se realiza mediante un sistema de husillo, el cual en conjunto con el motor a pasos seleccionado permite una resolución de 0,04mm. Los motores seleccionados tienen un ángulo/paso de 1.8° , es decir, que al emitir un paso al actuador utilizando un husillo de 8mm/rev, resulta en la resolución mencionada, lo cual resulta en una precisión aceptable al tratar con cavidades tan pequeñas como las venas, las cuales como se mencionó en los requerimientos del sistema en la zona de la fosa cubital tienen un diámetro aproximado de entre 2-4mm.
- El sistema se ha diseñado de manera que sus cotas máximas ocupen un área de 95,5x100cm y una altura de 105cm, lo cual está por debajo de la exigencia de espacio

que se estableció en la lista de requerimientos, por lo que el hipotético posicionamiento del sistema en un laboratorio médico es factible.

- El diseño utiliza en su mayoría el material AISI 304, el cual es un metal de la serie de aceros inoxidable y es uno de los que se utiliza para la fabricación de material quirúrgico. Siendo este el caso, se evita el riesgo de contaminación de las muestras.
- El diseño cuenta con el uso de una cámara infrarroja y un ecógrafo, mediante los cuales se logra localizar de forma exacta el sitio de punción. La cámara ofrece una imagen 2D del mapa vascular de las venas para la selección del punto de punción, y el ecógrafo permite visualizar que la aguja ingrese al interior de la vena de forma correcta, de manera no la extravase.
- El sistema utiliza una acción de control PID con retroalimentación mediante el uso del sensor capacitivo, que dará la señal de inicio a la acción de control al aproximarse al brazo del paciente; y finalizará esta acción al alcanzar el punto de punción con el uso de imágenes obtenidas por la cámara infrarroja y el ecógrafo. Este control permite alcanzar velocidad de avance adecuada para la punción de forma rápida y que se mantenga constante, minimizando errores y afecciones por ruido electrónico. Además, cabe resaltar que este tipo de control solo es necesario para la etapa de punción cuando la aguja este próxima al contacto con la piel del paciente, por lo que la velocidad de avance solo se verá afectada en esa etapa del funcionamiento.

Bibliografía

VASCULOGIC

VenousPro™. Consulta: 17 de agosto del 2017.

<https://vasculogic.com/venouspro.html>

VEEBOT LLC AUTOMATED VENIPUNCTURE SOLUTIONS

Veebot: Automated Venipuncture. Consulta: 17 de agosto del 2017

<http://www.veebot.com/solutions.html>

ACCUVEIN

AV400 Vein Viewing System. Consulta: 17 de agosto del 2017

<http://www.accuvein.com/products/catalog/av400-vein-viewing-system/>

TEKLA, Perry

“Profile: Veebot drawing blood faster and more safely than a human can”. IEEE Spectrum.

Nueva York, volumen L, número 8, pp. 23. Consulta: 17 de agosto del 2017

<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=6565554>

ELLIS, Harold, Bari LOGAN y Adrian DIXON

2016 *Cortes Anatómicos*. Madrid: MARBÁN.

OSLING, John y otros

2017 *Human Anatomy Color Atlas and Textbook*. 6ta Edición. Ámsterdam: ELSEVIER.

DÍAZ, N., R. GARRIDO y J. CASTELLANO

2007 *Metodología y Técnicas. Ecografía: Principios físicos, ecógrafos y lenguaje ecográfico*. Volumen 33. 7ma Edición. Ámsterdam: ELSEVIER.

SKF

Gama de husillos miniatura de acero inoxidable SDS/BDS/SHS. Consulta: 11 de setiembre del 2017

<http://www.skf.com/pe/products/linear-motion/ball-and-roller-screws/ball-screws/miniature-range-stainless-steel/index.html>

SPARKFUN

Sparkfun Star Something New. Consulta: 10 de octubre del 2017

<https://www.sparkfun.com/>

ANEXOS

- PLANOS MÉCANICOS
- ESQUEMÁTICOS ELÉCTRICOS
- TABLAS TÉCNICAS DEL ACERO INOXIDABLE
- HOJA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PLA
- HOJA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS RASPBERRY PI 3
- HOJA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS TIVA TM4C123GX
- HOJA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS MÓDULO CÁMARA RASPBERRY V2
- HOJA DE ESPECIFICACIONES CÁMARA INFRARROJA FLIR DEV KIT

ANEXOS

LISTA DE ANEXOS

- HOJA DE ESPECIFICACIONES FLiR
- HOJA DE ESPECIFICACIONES RASPBERRY PI 3 MODEL B
- HOJA DE ESPECIFICACIONES MÓDULO DE CÁMARA RASPBERRY PI V2
- HOJA DE ESPECIFICACIONES TIVA C-TM4C123G LAUNCHPAD
- TABLAS TÉCNICAS ES ACERO INOXIDABLE
- TABLAS TÉCNICAS PLA INNOFIL 3D BV



FLIR LEPTON® Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet

General Description

Lepton® is a complete long-wave infrared (LWIR) camera module designed to interface easily into native mobile-device interfaces and other consumer electronics. It captures infrared radiation input in its nominal response wavelength band (from 8 to 14 microns) and outputs a uniform thermal image.

Features

- Dimensions:
 - 8.5 x 11.7 x 5.6 mm (without socket),
 - 10.6 x 11.7 x 5.9 mm (including socket)
- 51-deg HFOV, 63.5-deg diagonal (f/1.1 silicon doublet)
- LWIR sensor, wavelength 8 to 14 μm
- 80 (h) \times 60 (v) active pixels
- Thermal sensitivity <50 mK
- Integrated digital thermal image processing functions, including automatic thermal environment compensation, noise filters, non-uniformity correction, and gain control
- Optional temperature-stable output to support radiometric processing
- Export compliant frame rate (< 9 Hz)
- MIPI and SPI video interfaces
- Two-wire I2C-like serial-control interface
- Uses standard cell-phone-compatible power supplies: 2.8V to sensor, 1.2V to digital core, and flexible IO from 2.5V to 3.1V
- Fast time to image (< 0.5 sec)



- Low operating power, nominally 150 mW (< 160 mW over full temperature range)
- Low power standby mode
- RoHS compliant
- 32-pin socket interface to standard Molex or similar side-contact connector

Applications

- Mobile phones
- Gesture recognition
- Building automation
- Thermal imaging
- Night vision

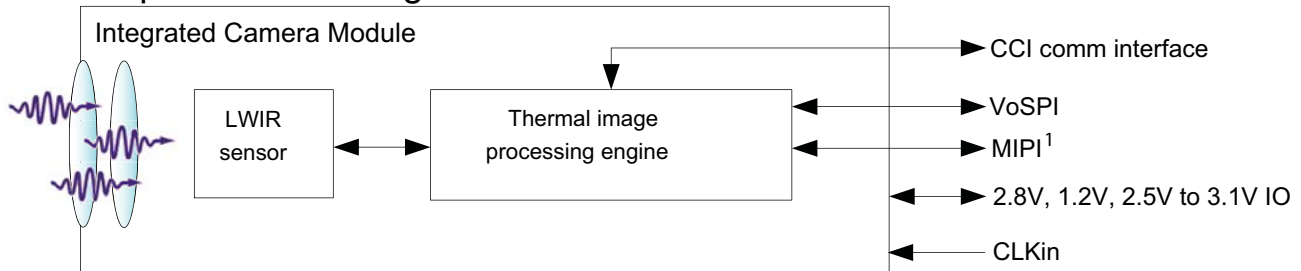
Information on this page is subject to change without notice. Shipping: CIP per INCOTERMS 2010.
FLIR Proprietary-Confidential, and approved for distribution to authorized FLIR dealers only.



The World's Sixth Sense™

FLIR LEPTON® Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet

Simplified Block Diagram



This documentation contains proprietary information to FLIR Systems, Inc. This information must be maintained in confidence and used only in a manner consistent with the documentation and any executed Non Disclosure Agreement, and may not be disclosed to any third parties without FLIR's written consent.

Note: All specifications subject to change without notice

Information on this page is subject to change without notice. Shipping: CIP per INCOTERMS 2010.
FLIR Proprietary-Confidential, and approved for distribution to authorized FLIR dealers only.



FLIR LEPTON® Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet

Contents

1.0 Device Overview	5
2.0 Applications	6
3.0 Key Specifications	7
4.0 Lepton Camera Module Pinout Diagram	8
5.0 Pin Descriptions	9
6.0 System Architecture	11
7.0 Video Pipeline	12
7.1 NUC	12
7.2 Defect Replacement	12
7.3 Spatial / Temporal Filtering	12
7.4 AGC	12
7.5 Colorize	13
8.0 Operating States and Modes	13
8.1 Power States	13
8.2 FFC States	17
8.3 Telemetry Modes	19
8.4 Radiometry Modes	22
8.4.1 Radiometry Disabled	22
8.4.2 Radiometry Enabled	24
8.5 AGC Modes	25
9.0 Interface Descriptions	27
9.1 Command and Control Interface	27
9.2 VoSPI Channel	28
9.2.1 VoSPI Physical Interface	29
9.2.2 VoSPI Protocol	30
9.3 MIPI Interface	35
10.0 Thermal Camera Basics	36
11.0 Mounting Specifications	37
11.1 Socket Information	38
11.2 Mechanical Considerations	40
11.3 Thermal Considerations	40
11.4 Optical Considerations	41
12.0 Image Characteristics	42
13.0 Spectral Response	44
14.0 Electrical Specifications	45
14.1 DC and Logic Level Specifications	45
14.2 AC Electrical Characteristics	45
15.0 Absolute Maximum Ratings	46
16.0 Environmental Specifications	47
16.1 Compliance with Environmental Directives	47
17.0 Abbreviations and Acronyms	48

Information on this page is subject to change without notice. Shipping: CIP per INCOTERMS 2010.
FLIR Proprietary-Confidential, and approved for distribution to authorized FLIR dealers only.



The World's Sixth Sense™

FLIR LEPTON® Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet

Revision History

Revision	Date	Description of Change
1.0	5/1/2014	Initial release
1.1	7/7/2014	Updated to cover new features of the Lepton 2.0 release.
1.2	9/23/2014	Minor corrections
1.2.3	10/15/2014	Formatting and minor corrections

Contact Us

email: SBA-CORES@FLIR.COM

phone: 1-888-747-3547

<http://www.FLIR.com>

References

Lepton Software Interface Description Document (IDD) - Public. Document #110-0144-03.

Information on this page is subject to change without notice. Shipping: CIP per INCOTERMS 2010.
FLIR Proprietary-Confidential, and approved for distribution to authorized FLIR dealers only.



FLIR LEPTON® Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet

1.0 Device Overview

Lepton is an infrared camera system that integrates a fixed-focus lens assembly, an 80x60 long-wave infrared (LWIR) microbolometer sensor array, and signal-processing electronics. Easy to integrate and operate, Lepton is intended for mobile devices as well as any other application requiring very small footprint, very low power, and instant-on operation. Lepton can be operated in its default mode or configured into other modes through a command and control interface (CCI).

Figure 1 shows a view of the Lepton camera, both as standalone and mounted in a socket.

Figure 1 Lepton Camera (with and without socket)



Information on this page is subject to change without notice. Shipping: CIP per INCOTERMS 2010.
FLIR Proprietary-Confidential, and approved for distribution to authorized FLIR dealers only.

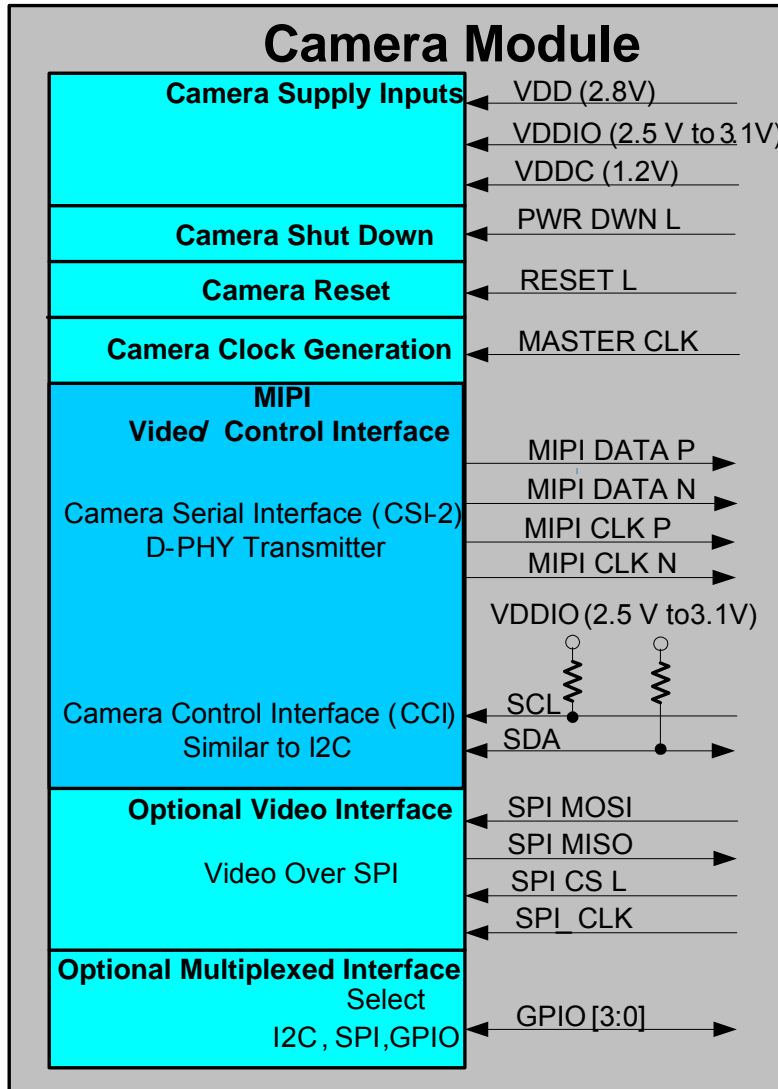


FLIR LEPTON® Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet

2.0 Applications

A typical application using the Lepton camera module is shown in *Figure 2*.

Figure 2 Typical Application



Note:

- (1) The CCI pullup resistors are required and must be handled outside the camera module by a host controller
- (2) MIPI is not currently supported

Information on this page is subject to change without notice. Shipping: CIP per INCOTERMS 2010. FLIR Proprietary-Confidential, and approved for distribution to authorized FLIR dealers only.



FLIR LEPTON® Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet

3.0 Key Specifications

The key specifications of the Lepton camera module are listed in [Table 1](#). See [Figure 3 on page 8](#) for the corresponding package pinout diagram.

Table 1 Key Specifications

Specification	Description
Overview	
Function	Passive thermal imaging module for mobile equipment
Sensor technology	Uncooled VOx microbolometer
Spectral range	Longwave infrared, 8 μm to 14 μm
Array format	80 \times 60, progressive scan
Pixel size	17 μm
Effective frame rate	8.6 Hz (exportable)
Thermal sensitivity	<50 mK (0.050° C)
Temperature compensation	Automatic. Output image independent of camera temperature (optional mode - see Radiometry Modes, page 22).
Non-uniformity corrections	Automatic (with scene motion)
FOV - horizontal	51°
FOV - diagonal	63.5°
Depth of field	10 cm to infinity
Lens type	f/1.1 silicon doublet
Output format	User-selectable 14-bit, 8-bit (AGC applied)
Solar protection	Integral
Electrical	
Input clock	25-MHz nominal, CMOS IO Voltage Levels (see Operating States and Modes, page 13)
Video data interface	Video over SPI (see VoSPI Channel, page 28)
Control port	CCI (I2C-like), CMOS IO Voltage Levels (see Command and Control Interface, page 27)
Input supply voltage (nominal)	2.8 V, 1.2 V, 2.5 V to 3.1 V IO (see DC and Logic Level Specifications, page 45)
Power dissipation	Nominally 150 mW at room temperature (operating), 4 mW (standby)
Mechanical	
Package dimensions – socket version	8.5 \times 11.7 \times 5.6 mm (w \times l \times h)
Weight	0.55 grams (typ)
Environmental	
Optimum operating temperature range	-10 °C to +65 °C
Non-operating temperature range	-40 °C to +80 °C
Shock	1500 G @ 0.4 ms

Information on this page is subject to change without notice. Shipping: CIP per INCOTERMS 2010. FLIR Proprietary-Confidential, and approved for distribution to authorized FLIR dealers only.

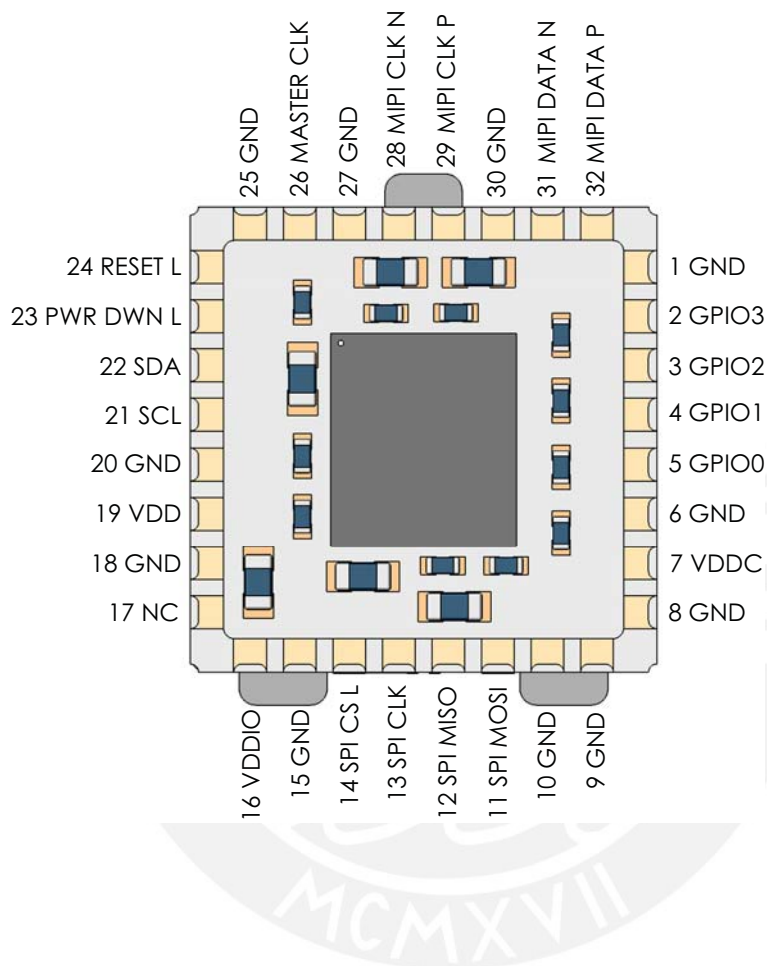


The World's Sixth Sense™

FLIR LEPTON® Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet

4.0 Lepton Camera Module Pinout Diagram

Figure 3 Pinout Diagram (viewed from back of camera module)



Information on this page is subject to change without notice. Shipping: CIP per INCOTERMS 2010.
FLIR Proprietary-Confidential, and approved for distribution to authorized FLIR dealers only.



FLIR LEPTON® Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet

5.0 Pin Descriptions

The Lepton camera module pin descriptions are shown in [Table 2](#).

Table 2 Lepton Camera Module Pin Descriptions

Pin #	Pin Name	Signal Type	Signal Level	Description
1, 6, 8, 9, 10, 15, 18, 20, 25, 27, 30	GND	Power	GND	Common Ground
2	GPIO3	IN/OUT	VDDIO	The GPIO multiplexed functions are optional and configurable. The GPIO pins are unused in the current release.
3	GPIO2	IN/OUT	VDDIO	
4	GPIO1	IN/OUT	VDDIO	
5	GPIO0	IN/OUT	VDDIO	
7	VDDC	Power	1.2V	Supply for MIPI Core, PLL, ASIC Core (1.2V +/- 5%)
11	SPI_MOSI	IN	VDDIO	Video Over SPI Slave Data In (see VoSPI Channel, page 28)
12	SPI_MISO	OUT	VDDIO	Video Over SPI Slave Data Out (see VoSPI Channel, page 28)
13	SPI_CLK	IN	VDDIO	Video Over SPI Slave Clock (see VoSPI Channel, page 28)
14	SPI_CS_L	IN	VDDIO	Video Over SPI Slave Chip Select, active low (see VoSPI Channel, page 28)
16	VDDIO	Power	2.5 V — 3.1 V	Supply used for System IO
17	No connection	—	—	—
19	VDD	Power	2.8V	Supply for Sensor (2.8V +/- 3%).
21	SCL	IN	VDDIO	Camera Control Interface Clock, I2C compatible
22	SDA	IN/OUT	VDDIO	Camera Control Interface Data, I2C compatible

Information on this page is subject to change without notice. Shipping: CIP per INCOTERMS 2010. FLIR Proprietary-Confidential, and approved for distribution to authorized FLIR dealers only.



The World's Sixth Sense™

FLIR LEPTON® Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet

Table 2 Lepton Camera Module Pin Descriptions (continued)

Pin #	Pin Name	Signal Type	Signal Level	Description
23	PWR_DWN_L	IN	VDDIO	This active low signal shuts down the camera
24	RESET_L	IN	VDDIO	This active low signal resets the camera
26	MASTER_CLK	IN	VDDIO	ASIC Master Clock Input (see Operating States and Modes, page 13)
28	MIPI_CLK_N	OUT	Diff Pair	MIPI Digital Video Clock Negative ¹
29	MIPI_CLK_P	OUT	Diff Pair	MIPI Digital Video Clock Positive ¹
31	MIPI_DATA_N	OUT	Diff Pair	MIPI Digital Video Data Negative ¹
32	MIPI_DATA_P	OUT	Diff Pair	MIPI Digital Video Data Positive ¹

Note(s)

1. MIPI is not currently supported. Let the MIPI pins float.

Information on this page is subject to change without notice. Shipping: CIP per INCOTERMS 2010.
 FLIR Proprietary-Confidential, and approved for distribution to authorized FLIR dealers only.

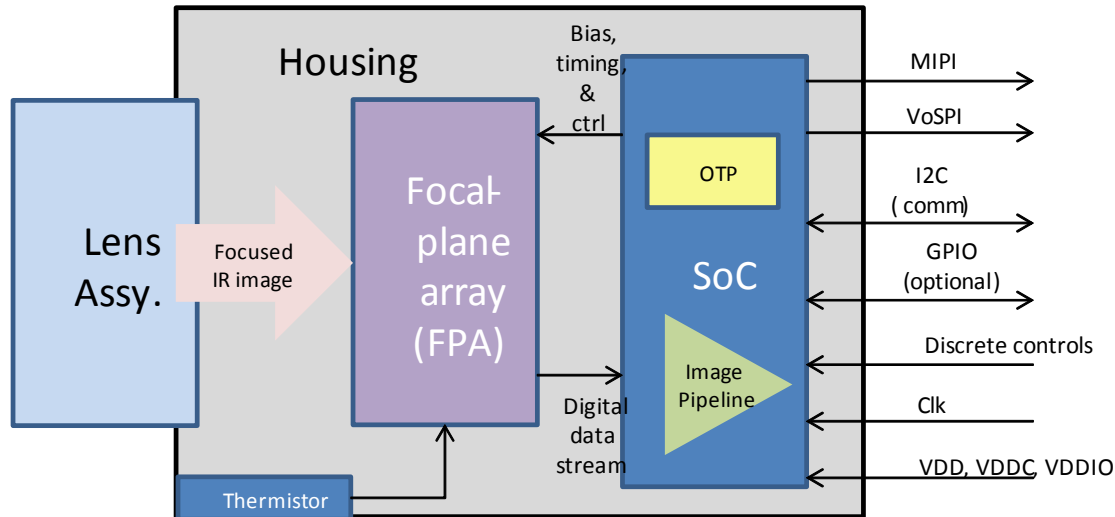


FLIR LEPTON® Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet

6.0 System Architecture

A simplified architectural diagram of the Lepton camera module is shown in [Figure 4](#).

Figure 4 Lepton Architecture



The lens assembly focuses infrared radiation from the scene onto an 80x60 array of thermal detectors with 17-micron pitch. Each detector element is a vanadium-oxide (VOx) microbolometer whose temperature fluctuates in response to incident flux. The change in temperature causes a proportional change in each microbolometer's resistance. VOx provides a high temperature coefficient of resistance (TCR) and low 1/f noise, resulting in excellent thermal sensitivity and stable uniformity. The microbolometer array is grown monolithically on top of a readout integrated circuit (ROIC) to comprise the complete focal plane array (FPA). Once per frame, the ROIC senses the resistance of each detector by applying a bias voltage and integrating the resulting current for a finite period of time called the integration period.

The serial stream from the FPA is received by a system on a chip (SoC) device, which provides signal processing and output formatting. The image pipeline is defined in [Video Pipeline, page 12](#).

Information on this page is subject to change without notice. Shipping: CIP per INCOTERMS 2010. FLIR Proprietary-Confidential, and approved for distribution to authorized FLIR dealers only.

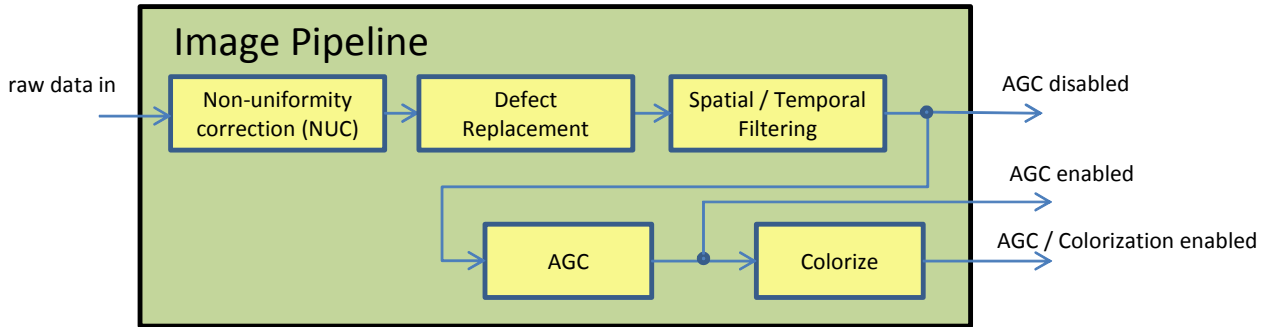


FLIR LEPTON® Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet

7.0 Video Pipeline

A block diagram of the video pipeline is shown in [Figure 5](#).

Figure 5 Lepton Video Pipeline Block Diagram



The video pipeline includes non-uniformity correction (NUC), defect replacement, spatial and temporal filtering, automatic gain correction (AGC), and colorization.

7.1 NUC

The non-uniformity correction (NUC) block applies correction terms to ensure that the camera produces a uniform output for each pixel when imaging a uniform thermal scene. Factory-calibrated terms are applied to compensate for temperature effects, pixel response variations, and lens-illumination roll-off. To compensate for temporal drift, the NUC block also applies an offset term that can be periodically updated at runtime via a process called flat-field correction (FFC). The FFC process is further described in [FFC States, page 17](#).

7.2 Defect Replacement

The defect-replacement block substitutes for any pixels identified as defective during factory calibration or during runtime. The replacement algorithm assesses the values of neighboring pixels and calculates an optimum replacement value. The typical number of defective pixels is ≤ 1 .

7.3 Spatial / Temporal Filtering

The image pipeline includes a number of sophisticated image filters designed to enhance signal-to-noise ratio (SNR) by eliminating temporal noise and residual non-uniformity. The filtering suite includes a scene-based non-uniformity correction (SBNUC) algorithm which relies on motion within the scene to isolate fixed pattern noise (FPN) from image content.

7.4 AGC

The AGC algorithm for converting the full-resolution (14-bit) thermal image into a contrast-enhanced image suitable for display is a histogram-based non-linear mapping function. See [AGC Modes, page 25](#).

Information on this page is subject to change without notice. Shipping: CIP per INCOTERMS 2010.
FLIR Proprietary-Confidential, and approved for distribution to authorized FLIR dealers only.



FLIR LEPTON® Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet

7.5 Colorize

The colorize block takes the contrast-enhanced thermal image as input and generates a 24-bit RGB color output. This feature is anticipated in a future release and is not currently accessible.

8.0 Operating States and Modes

Lepton provides a number of operating states and modes, more completely defined in the sections that follow:

- [Power States, page 13](#)
- [FFC States, page 17](#)
- [Telemetry Modes, page 19](#)
- [Radiometry Modes, page 22](#)
- [AGC Modes, page 25](#)
- [Interface Descriptions, page 27](#)

8.1 Power States

Lepton currently provides five power states. As depicted in the state diagram shown in [Figure 6](#), most of the transitions among the power states are the result of explicit action from the host. The automatic transition to and from the overtemp state is an exception. In the figure, transitions that require specific host-side action are shown in bold. Automatic transitions are not bolded.

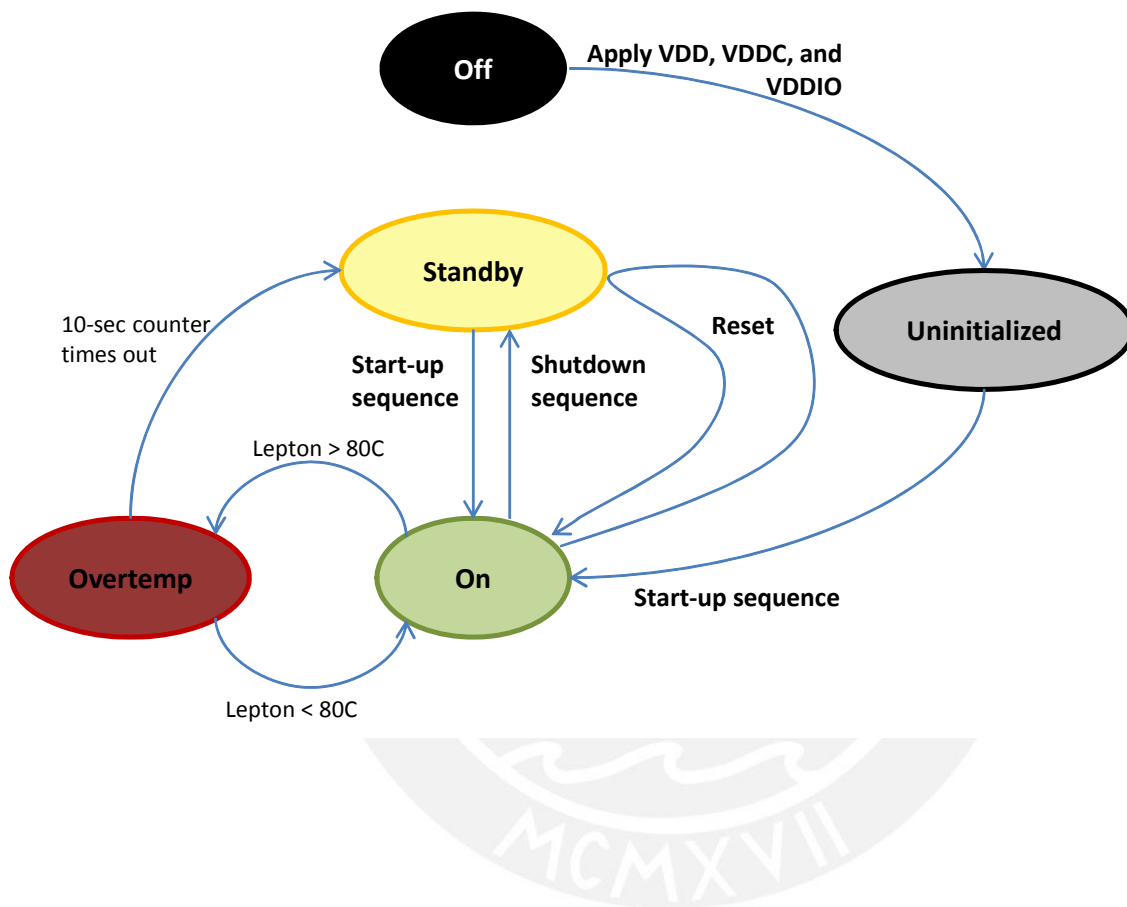
Information on this page is subject to change without notice. Shipping: CIP per INCOTERMS 2010.
FLIR Proprietary-Confidential, and approved for distribution to authorized FLIR dealers only.



FLIR LEPTON® Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet

Figure 6 State Diagram Showing Transitions among the Five Power States

Note: Transition to “off” from every other state occurs by **removing VDD, VDDC, and VDDIO**. For simplicity, these transitions are not shown below.



Information on this page is subject to change without notice. Shipping: CIP per INCOTERMS 2010. FLIR Proprietary-Confidential, and approved for distribution to authorized FLIR dealers only.



FLIR LEPTON® Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet

The power states are listed here:

- **Off:** When no voltage is applied, Lepton is in the off state. In the off state, no camera functions are available.
- **Uninitialized:** In the uninitialized state, all voltage forms are applied, but Lepton has not yet been booted and is in an indeterminate state. It is not recommended to leave Lepton in this state as power is not optimized; it should instead be booted to the on-state (and then transitioned back to standby if imaging is not required).
- **On:** In the on state, all functions and interfaces are fully available.
- **Standby:** In the standby state, all voltage forms are applied, but power consumption is approximately 4 mW. In the standby state, no functions are available, but it is possible to transition to the on state via the start-up sequence defined in [Figure 7 on page 16](#). The shutdown sequence shown in [Figure 7 on page 16](#) is the recommended transition back to the standby state. It is also possible to transition between standby and on states via software commands, as further defined in the software IDD.
- **Overtemp:** The overtemp state is automatically entered when the Lepton senses that its temperature has exceeded approximately 80 °C. Upon entering the overtemp state, Lepton enables a “shutdown imminent” status bit in the telemetry line and starts a 10-second counter. If the temperature of the Lepton falls below 80 °C before the counter times out, the “shutdown imminent” bit is cleared and the system transitions back to the on state. If the counter does time out, Lepton automatically transitions to the standby state.

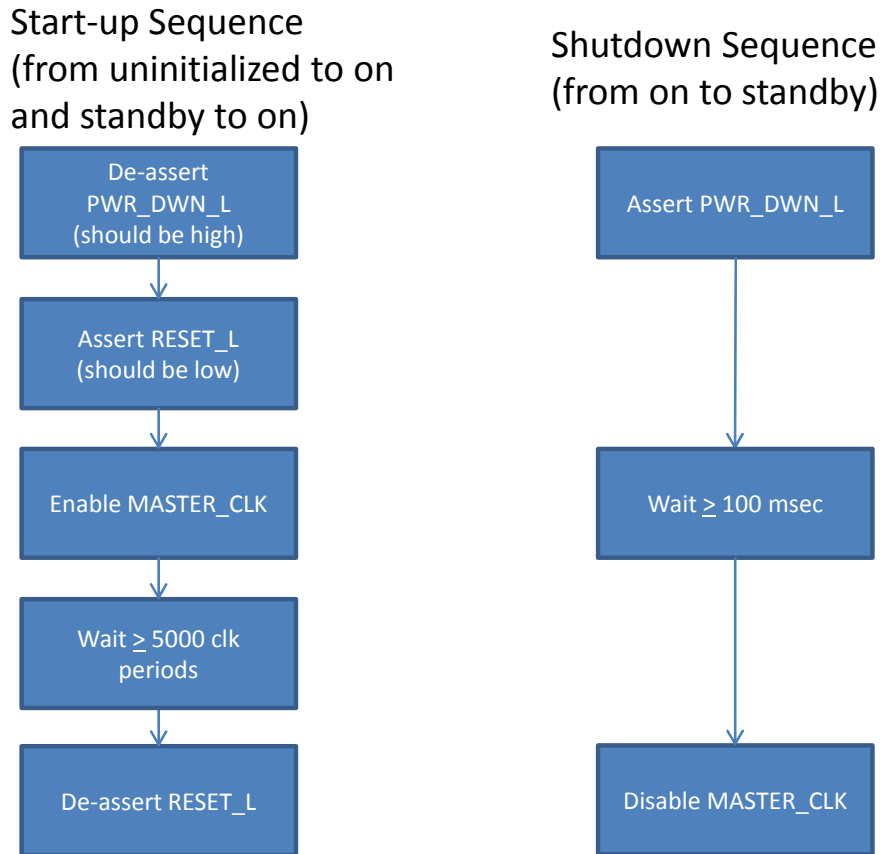
Information on this page is subject to change without notice. Shipping: CIP per INCOTERMS 2010.
FLIR Proprietary-Confidential, and approved for distribution to authorized FLIR dealers only.



FLIR LEPTON® Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet

Power sequencing is as shown in [Figure 7](#).

Figure 7 Power Sequencing



Information on this page is subject to change without notice. Shipping: CIP per INCOTERMS 2010. FLIR Proprietary-Confidential, and approved for distribution to authorized FLIR dealers only.



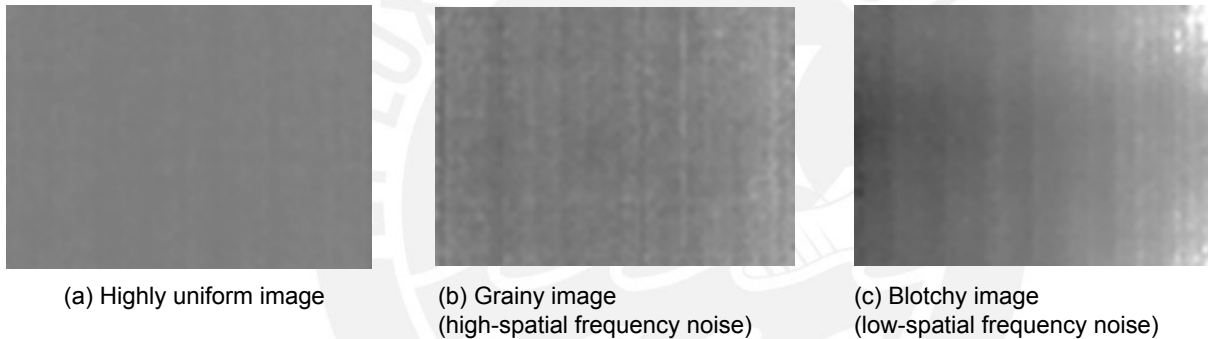
FLIR LEPTON® Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet

8.2 FFC States

Lepton is factory calibrated to produce an output image that is highly uniform, such as shown in [Figure 8 \(a\)](#), when viewing a uniform-temperature scene. However, drift effects over long periods of time degrade uniformity, resulting in imagery which appears more grainy ([Figure 8 \(b\)](#)) and/or blotchy ([Figure 8 \(c\)](#)). Operation over a wide temperature range (for example, powering on at -10 °C and heating to 65 °C) will also have a detrimental effect on image quality.

For scenarios in which there is ample scene movement, such as most handheld applications, Lepton is capable of automatically compensating for drift effects using an internal algorithm called scene-based non-uniformity correction (scene-based NUC or SBNUC). However, for use cases in which the scene is essentially stationary, such as fixed-mount applications, scene-based NUC is less effective. In those applications, it is recommended to periodically perform a flat-field correction (FFC). FFC is a process whereby the NUC terms applied by the camera's signal processing engine are automatically recalibrated to produce the most optimal image quality. The sensor is briefly exposed to a uniform thermal scene, and the camera updates the NUC terms to ensure uniform output. The entire FFC process takes less than a second.

Figure 8 Examples of Good Uniformity, Graininess, and Blotchiness



The current FFC state is provided through the telemetry line. There are three FFC states, as illustrated in [Figure 9 on page 18](#):

1. **FFC not commanded** (default): In this state, Lepton applies by default a set of factory-generated FFC terms.
2. **FFC in progress**: Lepton enters this state when FFC is commanded. The default FFC duration is nominally 23 frames.
3. **FFC complete**: Lepton automatically enters this state whenever FFC is completed.

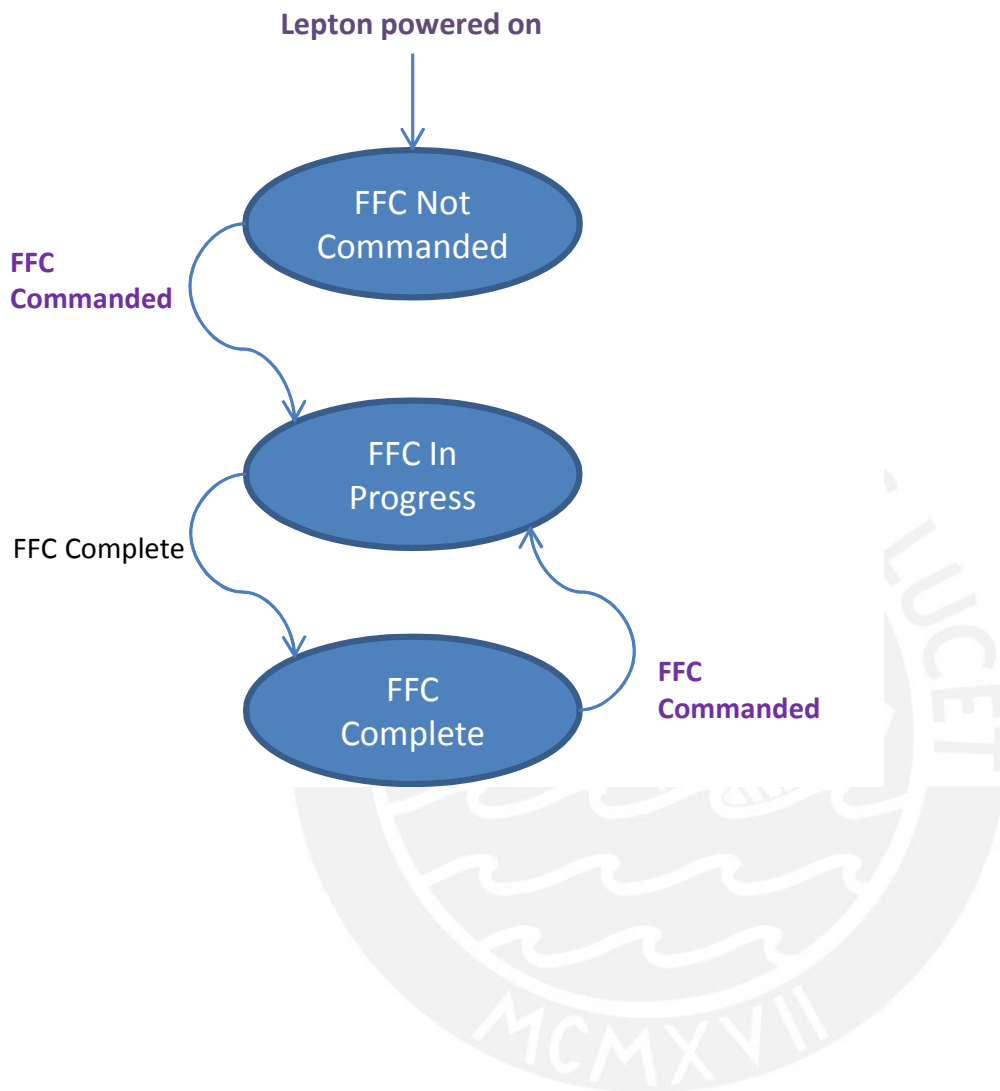
Lepton also provides an “FFC desired” flag in the telemetry line. The “FFC desired” flag is asserted at start-up, when a specified period (default = 3 minutes) has elapsed since the last FFC, or when the sensor temperature has changed by a specified value (default = 3 Celsius degrees) since the last FFC. The “FFC desired” flag is intended to indicate to the host to command an FFC at the next possible opportunity.

Information on this page is subject to change without notice. Shipping: CIP per INCOTERMS 2010.
FLIR Proprietary-Confidential, and approved for distribution to authorized FLIR dealers only.



FLIR LEPTON® Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet

Figure 9 FFC States



Information on this page is subject to change without notice. Shipping: CIP per INCOTERMS 2010. FLIR Proprietary-Confidential, and approved for distribution to authorized FLIR dealers only.



FLIR LEPTON® Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet

8.3 Telemetry Modes

There are three telemetry modes that affect the video output signal:

- Telemetry disabled (default)
- Telemetry as header
- Telemetry as footer

Explicit commands over the CCI select each mode. The contents and encoding of the telemetry data are shown in [Table 3](#). Note that the second and third lines (line B and line C) are reserved for future growth and contain no information at this time.

Table 3 Telemetry Data Content and Encoding

Telemetry Row	Word start	Word End	Number of 16-bit Words	Name	Notes
A	0	0	1	Telemetry Revision	Format = major (byte 1), minor rev (byte 0).
A	1	2	2	Time Counter	32 bit counter in units of msec elapsed since boot-up
A	3	4	2	Status Bits	See Table 4 on page 21
A	5	12	8	Module serial #	
A	13	16	4	Software revision	
A	17	19	4	Reserved	
A	20	21	2	Frame Counter	32-bit counter of output frames
A	22	22	1	Frame Mean	
A	23	23	1	FPA Temp	In counts (prior to conversion to Kelvin)
A	24	24	1	FPA Temp	In Kelvin x 100
A	25	25	1	Housing Temp	In counts (prior to conversion to Kelvin)

Information on this page is subject to change without notice. Shipping: CIP per INCOTERMS 2010.
 FLIR Proprietary-Confidential, and approved for distribution to authorized FLIR dealers only.



FLIR LEPTON® Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet

Table 3 Telemetry Data Content and Encoding (continued)

Telemetry Row	Word start	Word End	Number of 16-bit Words	Name	Notes
A	26	26	1	Housing Temp	In Kelvin x 100
A	27	28	2	Reserved	
A	29	29	1	FPA Temp at last FFC	Updated every FFC. Units are Kelvin x100
A	30	31	2	Time Counter at last FFC	Updated every FFC. Units are msec
A	32	32	1	Housing temp at last FFC	Updated every FFC. Units are Kelvin x100
A	33	33	1	Reserved	
A	34	37	4	AGC ROI	(top, left, bottom, right)
A	38	38	1	AGC Clip-Limit High	See AGC, page 12
A	39	39	1	AGC Clip-Limit Low	
A	40	73	34	Reserved	
A	74	74	1	Log2 of FFC frames	See FFC States, page 17
A	75	79	5	Reserved	
B	0	79	80	Reserved	
C	0	78	79	Reserved	

Information on this page is subject to change without notice. Shipping: CIP per INCOTERMS 2010. FLIR Proprietary-Confidential, and approved for distribution to authorized FLIR dealers only.



FLIR LEPTON® Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet

Table 4 shows the encoding of the status bits (Telemetry Row A, Words 3 and 4).

Table 4 Status Bit Encoding (Telemetry Row A, words 3 and 4)

Bit start	Bit end	Number of Bits	Name	Notes
0			Reserved	
3	3	1	FFC Desired ¹	0 = FFC not desired 1 = FFC desired
4	5	2	FFC State ¹	Telemetry Revision 8: 00 = FFC never commanded 01 = FFC in progress 10 = FFC complete 11 = undefined Telemetry Revision 9: 00 = FFC never commanded 01 = Reserved 10 = FFC in progress 11 = FFC complete
6	11	6	Reserved	
12	12	1	AGC State	0=Disabled 1=Enabled
13	19	7	Reserved	
20	20	1	Overtemp shut down imminent	Goes true 10 seconds before shutdown (see Power States, page 13)
21	31	11	Reserved	

Note(s)

1. See [FFC States, page 17](#).

Information on this page is subject to change without notice. Shipping: CIP per INCOTERMS 2010.
FLIR Proprietary-Confidential, and approved for distribution to authorized FLIR dealers only.



FLIR LEPTON® Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet

8.4 Radiometry Modes

There are two radiometry modes that affect the video output signal:

- Radiometry disabled (default)
- Radiometry enabled

The radiometric modes affect the transfer function between incident flux (scene temperature) and pixel output. From an image-quality standpoint, both radiometry modes produce nearly identical performance (no change in NEDT), and either mode is appropriate for strict imaging applications. However, for applications in which it is intended to convert the Lepton output signal to one proportional to scene temperature, the radiometry-enabled mode is preferred because the conversion is constant over the full operating temperature range of the camera. Note that the following discussion assumes AGC is disabled (see [AGC Modes, page 25](#)). If AGC is enabled, the differences between the two radiometry modes are completely obscured by the AGC algorithm. In other words, with AGC enabled, any differences in signal output between radiometry-disabled and radiometry-enabled modes are negligible.

8.4.1 Radiometry Disabled

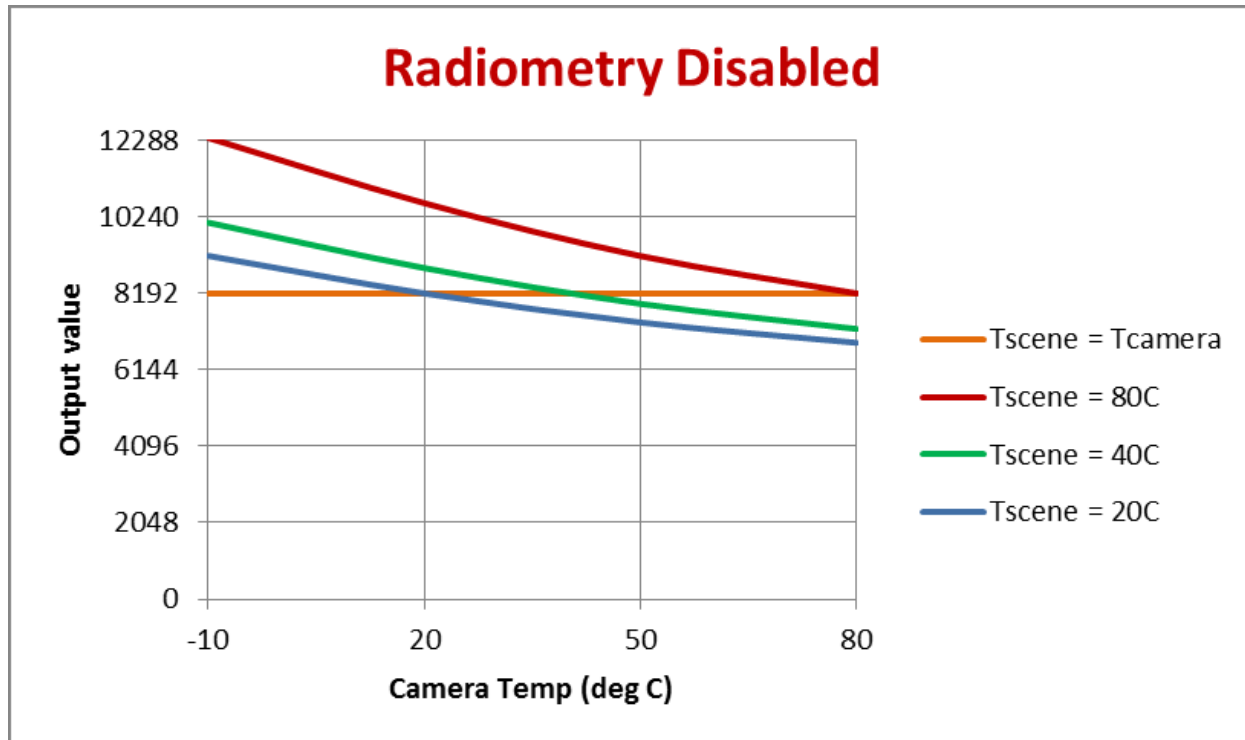
With radiometry disabled, the output of a given pixel is intended to be near the middle of the 14-bit range (~8192) when viewing a scene with a temperature equal to the temperature of the camera. Furthermore, the responsivity, which is defined as the change in pixel output value for a change in scene temperature, varies over the camera's operating temperature range. The resulting output for three different scene temperatures is illustrated hypothetically in [Figure 10](#) (note that the figure is for illustration purposes and not perfectly representative).

Information on this page is subject to change without notice. Shipping: CIP per INCOTERMS 2010.
FLIR Proprietary-Confidential, and approved for distribution to authorized FLIR dealers only.



FLIR LEPTON® Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet

Figure 10 Hypothetical Illustration of Camera Output vs. Camera Temperature in Radiometry-disabled Mode



Information on this page is subject to change without notice. Shipping: CIP per INCOTERMS 2010.
FLIR Proprietary-Confidential, and approved for distribution to authorized FLIR dealers only.

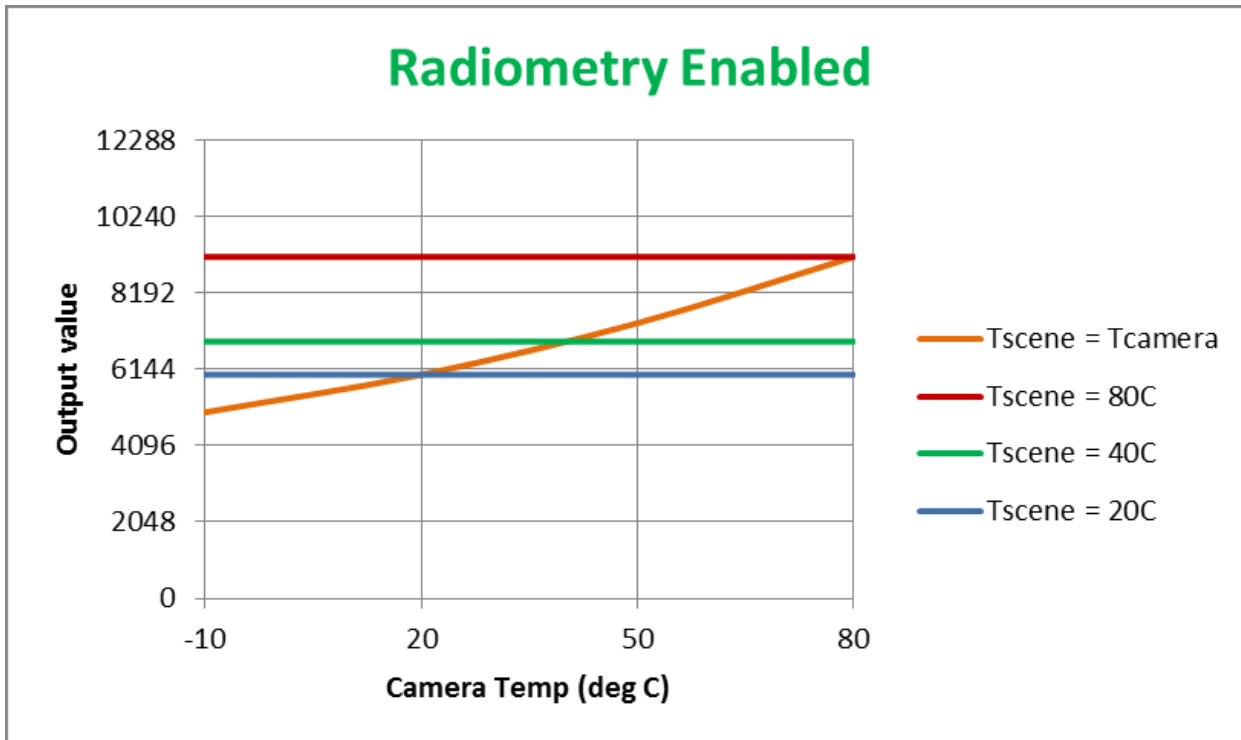


FLIR LEPTON® Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet

8.4.2 Radiometry Enabled

With radiometry enabled, Lepton performs internal adjustments to the signal level such that in principle the output is independent of the camera's own temperature. The resulting output for three different scene temperatures is illustrated hypothetically in [Figure 11](#). Notice in [Figure 11](#) that the output is only a function of scene temperature, not camera temperature (again, the figure is for illustration purposes only and not perfectly representative. In practice, there is slight output variation as camera temperature changes, particularly when the temperature change is rapid). Also notice that responsivity is also independent of camera temperature; that is, the difference in output between two different scene temperatures is a constant, as opposed to in [Figure 10 on page 23](#), where it decreases with increasing camera temperature.

Figure 11 Hypothetical Illustration of Camera Output vs. Camera Temperature in Radiometry-enabled Mode



Information on this page is subject to change without notice. Shipping: CIP per INCOTERMS 2010.
FLIR Proprietary-Confidential, and approved for distribution to authorized FLIR dealers only.



The World's Sixth Sense™

FLIR LEPTON® Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet

8.5 AGC Modes

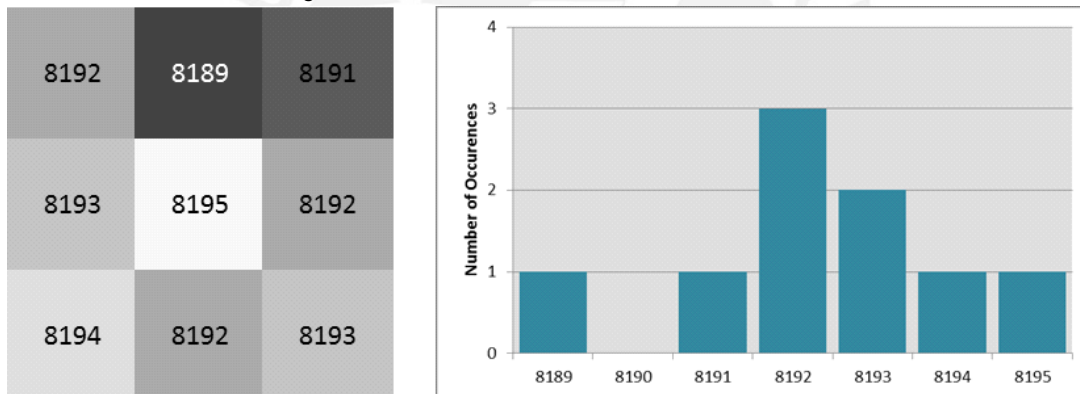
There are two AGC modes:

- **AGC disabled** (default)
- **AGC enabled**

AGC is a process whereby the large dynamic range of the infrared sensor is collapsed to a range more appropriate for a display system. For Lepton, this is a 14-bit to 8-bit conversion. In its most simplistic form, AGC can be a linear mapping from 14-bit to 8-bit; however, a simple linear AGC is generally incapable of providing pleasing imagery in all imaging conditions. For example, when a scene includes both cold and hot regions (for example, a hot object in front of a cold background as illustrated in [Figure 13 on page 26](#)), linear AGC can produce an output image in which most pixels are mapped to either full black or full white with very little use of the grayshades (8-bit values) in between. Because of this limitation of linear AGC, a more sophisticated algorithm is preferred.

Similar to most AGC algorithms that optimize the use of grayshades, Lepton's is histogram-based. Essentially a histogram counts the number of pixels in each frame that have a given 14-bit value. [Figure 12 on page 25](#) illustrates the concept for a 3x3 pixel area.

Figure 12 Illustration of a Histogram for a 3x3 Pixel Area



Classic histogram equalization uses the cumulative histogram as a mapping function between 14-bit and 8-bit. The intent is to devote the most grayshades to those portions of the input range occupied by the most pixels. For example, an image consisting of 60% sky devotes 60% of the available grayshades to the sky, leaving only 40% for the remainder of the image. By comparison, linear AGC “wastes” grayshades when there are gaps in the histogram, whereas classic histogram equalization allocates no grayshades to the gaps. This behavior is in principle an efficient use of the available grayshades, but there are a few drawbacks:

- The resulting contrast between an object and a much colder (or hotter) background can be rendered poor by the fact the algorithm “collapses” the separation between such that the object is only 1 grayshade above the background. This phenomenon is illustrated in [Figure 13](#).

Information on this page is subject to change without notice. Shipping: CIP per INCOTERMS 2010.
FLIR Proprietary-Confidential, and approved for distribution to authorized FLIR dealers only.



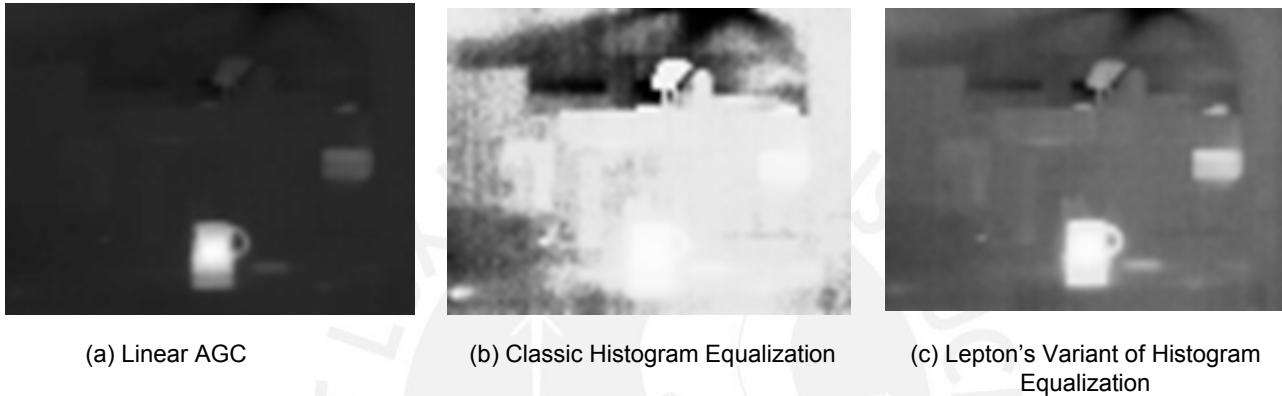
The World's Sixth Sense™

FLIR LEPTON® Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet

- Too much emphasis can be placed on background clutter, particularly when a mostly isothermal background comprises a large fraction of the total image area. This is also illustrated in [Figure 13](#).

The Lepton AGC algorithm is a modified version of classic histogram equalization that mitigates these shortcomings. One such modification is a parameter called “clip limit high.” It clips the maximum population of any single bin, limiting the influence of heavily populated bins on the mapping function. Another parameter utilized by the Lepton algorithm is called “clip limit low.” It adds a constant value to every non-zero bin in the histogram, resulting in additional contrast between portions of the histogram separated by gaps. [Figure 13](#) is an example showing the benefit of the Lepton clip parameters.

Figure 13 Comparison of Linear AGC and Classic/Lepton Variant of Histogram Equalization



A high value of clip limit high results in a mapping more like classic histogram equalization, whereas a low value results in mapping more like linear AGC. For clip limit low, the opposite is true: a high value results in a mapping more like linear AGC, whereas a low value results in a mapping more like classic histogram equalization. The default values of both parameters produce a good compromise between the two; however, because optimum AGC is highly subjective and often application dependent, customers are encouraged to experiment to find settings most appropriate for the target application.

By default, the histogram used to generate Lepton's 14-bit to 8-bit mapping function is collected from the full array. In some applications, it is desirable to have the AGC algorithm ignore a portion of the scene when collecting the histogram. For example, in some applications it may be beneficial to optimize the display to a region of interest (ROI) in the central portion of the image. When the AGC ROI is set to a subset of the full image, any scene content located outside of the ROI is not included in the histogram and therefore does not affect the mapping function (note: this does not mean the portion outside of the ROI is not displayed or that AGC is not applied there, only that those portions outside the AGC ROI do not influence the mapping function).

Information on this page is subject to change without notice. Shipping: CIP per INCOTERMS 2010.
FLIR Proprietary-Confidential, and approved for distribution to authorized FLIR dealers only.



FLIR LEPTON® Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet

9.0 Interface Descriptions

9.1 Command and Control Interface

Lepton provides a command and control interface (CCI) via a two-wire interface similar to I2C (the only difference relative to the true I2C standard is that all Lepton registers are 16 bits wide and consequently, only 16-bit transfers are allowed). The CCI address is 0x2A. The interface is described in detail in a separate document, the Lepton Software Interface Description Document (IDD), FLIR document #110-0144-03. Generally speaking, all commands issued through the CCI take the form of a “get” (reading data), a “set” (writing data), or a “run” (executing a function). [Table 5](#) shows a partial list of parameters / features controllable through the CCI.

Table 5 Partial List of Parameters Controllable through the CCI

Parameter	Power-On Default	Section in this document	Telemetry Line Location
AGC Mode	Disabled	AGC Modes, page 25	A3-4
AGC ROI	(0,0,79,59)	AGC Modes, page 25	A34-A37
AGC Dampening Factor	64	AGC Modes, page 25	A42
AGC Clip Limit High	4800	AGC Modes, page 25	A38
AGC Clip Limit Low	512	AGC Modes, page 25	A39
SYS Telemetry Mode	Disabled	Telemetry Modes, page 19	n/a
SYS Telemetry Location	Footer	Telemetry Modes, page 19	n/a
SYS Number of Frames to Average	8	FFC States, page 17	A74
VID Color LUT Select	Fusion	Interface Descriptions, page 27	n/a
VID User Color LUT Upload/Download	n/a	Interface Descriptions, page 27	n/a

Information on this page is subject to change without notice. Shipping: CIP per INCOTERMS 2010.
FLIR Proprietary-Confidential, and approved for distribution to authorized FLIR dealers only.



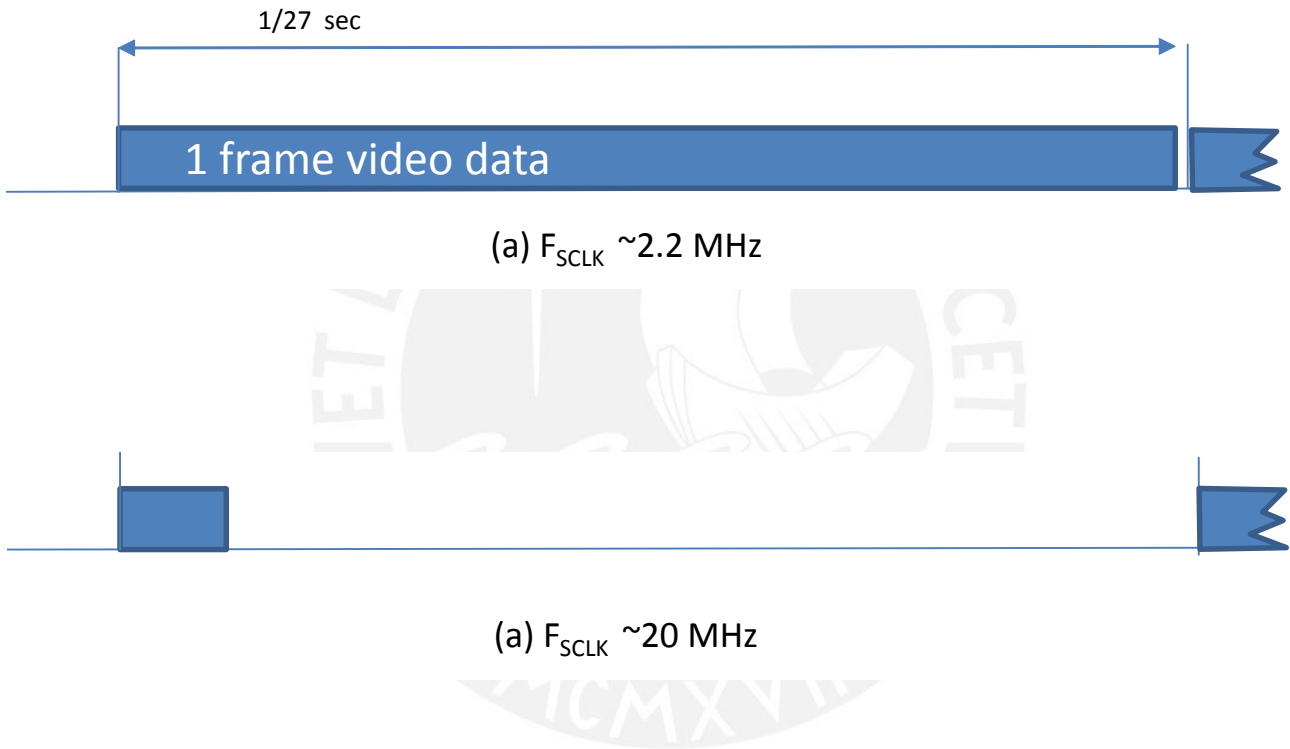
The World's Sixth Sense™

FLIR LEPTON® Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet

9.2 VoSPI Channel

The Lepton VoSPI protocol allows efficient and verifiable transfer of video over a SPI channel. The protocol is packet-based with no embedded timing signals and no requirement for flow control. The host (master) initiates all transactions and controls the clock speed. Data can be pulled from the Lepton (the slave) at a flexible rate. This flexibility is depicted in **Figure 14**, which shows the use of a relatively slow clock utilizing most of the available frame period as well as the use of a fast clock that bursts frame data. Once all data for a given frame is read, the master has the option to stop the clock and/or deassert the chip select until the next available frame. Alternatively, the master can simply leave the clock and chip select enabled, in which case Lepton transmits discard packets until the next valid video data is available.

Figure 14 VoSPI Flexible Clock Rate



Information on this page is subject to change without notice. Shipping: CIP per INCOTERMS 2010.
FLIR Proprietary-Confidential, and approved for distribution to authorized FLIR dealers only.



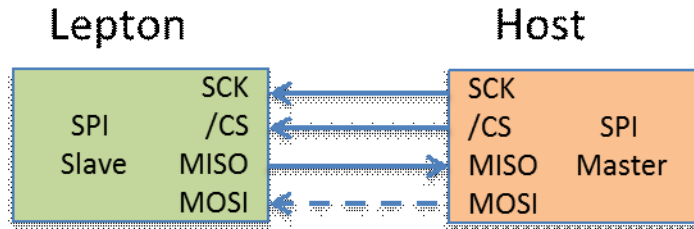
FLIR LEPTON® Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet

9.2.1 VoSPI Physical Interface

As illustrated in **Figure 15**, VoSPI utilizes 3 of the 4 lines of a typical SPI channel:

- SCK (Serial Clock)
- /CS (Chip Select, active low),
- MISO (Master In/Slave Out).

Figure 15 VoSPI I/O



The MOSI (Master Out/Slave In) signal is not currently employed and should be grounded. Implementations are restricted to a single master and single slave. The Lepton uses SPI Mode 3 (CPOL=1, CPHA=1); SCK is HIGH when idle. Data is set up by the Lepton on the falling edge of SCK and should be sampled by the host controller on the rising edge. See **Figure 16**. Data is transferred most-significant byte first and in big-endian order. **Figure 17** provides an example of the transmission of the value 0x8C08.

Figure 16 SPI Mode 3 (CPOL=1, CPHA=1)

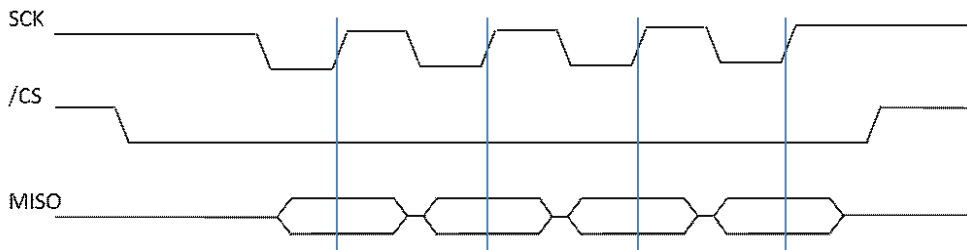
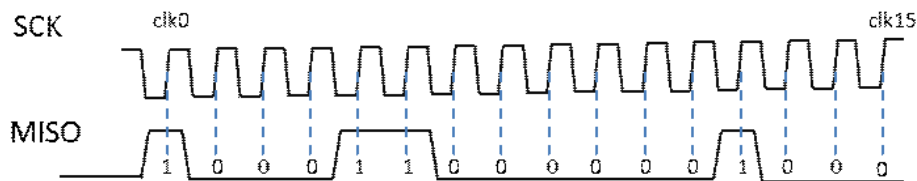


Figure 17 SPI Bit Order (transmission of 0x8C08)



Information on this page is subject to change without notice. Shipping: CIP per INCOTERMS 2010. FLIR Proprietary-Confidential, and approved for distribution to authorized FLIR dealers only.



FLIR LEPTON® Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet

The maximum clock rate is 20 MHz. The minimum clock rate is a function of the number of bits of data per frame that need to be retrieved. As described in the sections that follow, the number of bits of data varies depending upon user settings (video format mode, telemetry mode). For default conditions (Raw14 mode, telemetry disabled), there are 60 video packets per frame, each 1312 bits long, at approximately 25.9 frames per second. Therefore, the minimum rate is on the order of 2 MHz.

9.2.2 VoSPI Protocol

VoSPI is built on a collection of object types as defined hierarchically below.

- **VoSPI Packet:** The Lepton VoSPI protocol is based on a single standardized VoSPI packet, the minimum “transaction” between master and slave. Each video packet contains data for a single video line or telemetry line. In addition to video packets, the VoSPI protocol includes discard packets that are provided when no video packets are available.
- **VoSPI Frame:** A VoSPI frame is defined as a continuous sequence of VoSPI packets consisting of a full frame’s worth of pixel data.
- **VoSPI Stream:** A VoSPI stream is defined as a continuous sequence of VoSPI frames.

As summarized in [Table 6 on page 30](#), the number of packets per frame varies depending upon telemetry mode.

Table 6 Packet Length and Number of Video Packets per Frame as a Function of User Settings

Video Format Mode	Telemetry Mode	
	Telemetry Disabled	Telemetry Enabled
Raw14	Video packets per frame: 60	Video packets per frame: 63

Information on this page is subject to change without notice. Shipping: CIP per INCOTERMS 2010.
FLIR Proprietary-Confidential, and approved for distribution to authorized FLIR dealers only.



The World's Sixth Sense™

FLIR LEPTON® Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet

9.2.2.1 VoSPI Packets

As depicted in [Figure 18](#), each packet contains a 4-byte header followed by a 160-byte payload.

Figure 18 Generic VoSPI Packet

ID	CRC	Payload
4 bytes		160 bytes

For video packets, the header includes a 2-byte ID and a 2-byte CRC. The ID field is a 12-bit packet number as shown in [Figure 19](#) (the leading 4 bits of the ID field are reserved and are not part of the packet number). Note that packet numbering restarts at zero on each new frame. The CRC portion of the packet header contains a 16-bit cyclic redundancy check (CRC), computed using the following polynomial:

$$x^{16} + x^{12} + x^5 + x^0$$

The CRC is calculated over the entire packet, including the ID and CRC fields. However, the four most-significant bits of the ID and all sixteen bits of the CRC are set to zero for calculation of the CRC. There is no requirement for the host to verify the CRC. However, if the host does find a CRC mismatch, it is recommended to re-synchronize the VoSPI stream to prevent potential misalignment.

Figure 19 Video Packet

ID	CRC	Payload
xNNN (16 bits)	CRC (16 bits)	Video pixels for one video line

At the beginning of SPI video transmission until synchronization is achieved (see [VoSPI Stream, page 33](#)) and also in the idle period between frames, Lepton transmits discard packets until it has a new frame from its imaging pipeline. As shown in [Figure 20](#), the 2-byte ID field for discard packets is always xFxx (where 'x' signifies a "don't care" condition). Note that VoSPI-enabled cameras do not have vertical resolution approaching 3840 lines (0xF00), and therefore it is never possible for the ID field in a discard packet to be mistaken for a video line.

Figure 20 Discard Packet

ID	CRC	Payload
xFxx	xxxx	Discard data (same number of bytes as video packets)

Information on this page is subject to change without notice. Shipping: CIP per INCOTERMS 2010.
FLIR Proprietary-Confidential, and approved for distribution to authorized FLIR dealers only.



FLIR LEPTON® Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet

The payload is 160 bytes long. Excluding telemetry lines¹, each packet contains pixel data for all 80 pixels in a single video line (with AGC disabled, the first two bits of each pixel's two-byte word are always set to 0; if AGC is enabled, the first eight bits are set to 0).

This is illustrated in the following payload encoding figures.

Figure 21 Raw14 Mode: 1 video line per 160-byte payload

Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3	...	Byte 158	Byte 159
Line m		Line m		...	Line m	
Pixel 0		Pixel 1			Pixel 79	

9.2.2.2 VoSPI Frames

A single Lepton frame contains data from all 60 rows of the sensor. However, the total number of video packets is not necessarily 60; the exact number depends upon user settings, specifically the telemetry mode (disabled, as header, or as footer). [Table 7](#) shows the number of packets per frame and the contents of each packet for all of the various combinations.

Table 7 Video Packet Contents Per Frame as a Function of Video Format and Telemetry-mode Settings

	Configuration		
	As header	As footer	Disabled
Telemetry Mode			
Packet 0	Telemetry line A	FPA Row 0	FPA Row 0
Packet 1	Telemetry line B	FPA Row 1	FPA Row 1
Packet 2	Telemetry line C	FPA Row 2	FPA Row 2
Packet 3	FPA Row 0	FPA Row 3	FPA Row 3
...
Packet 29	FPA Row 26	FPA Row 29	FPA Row 29
Packet 30	FPA Row 27	FPA Row 30	FPA Row 30
Packet 31	FPA Row 28	FPA Row 31	FPA Row 31
Packet 32	FPA Row 29	FPA Row 32	FPA Row 32

Note(s)

1. See [Telemetry Modes, page 19](#) for payload contents of the telemetry lines

Information on this page is subject to change without notice. Shipping: CIP per INCOTERMS 2010.
 FLIR Proprietary-Confidential, and approved for distribution to authorized FLIR dealers only.



FLIR LEPTON® Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet

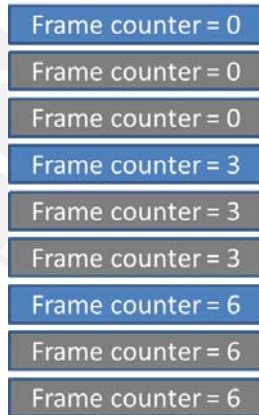
Table 7 Video Packet Contents Per Frame as a Function of Video Format and Telemetry-mode Settings

	Configuration		
...
Packet 59	FPA Row 56	FPA Row 59	FPA Row 59
Packet 60	FPA Row 57	Telemetry line A	n/a
Packet 61	FPA Row 58	Telemetry line B	n/a
Packet 63	FPA Row 59	Telemetry line C	n/a

9.2.2.3 VoSPI Stream

A VoSPI stream is simply a continuous sequence of VoSPI frames following a synchronization event. Provided that synchronization is maintained, a VoSPI stream can continue indefinitely. Note that the frame rate of the stream is nominally just below 27 Hz, allowing easy interface to a display system without the need for host-side frame buffering. However, the rate of *unique* frames is just below 9 Hz to comply with US export restrictions. For each unique frame, two duplicates follow in the VoSPI stream. This pattern is illustrated in [Figure 22](#), with unique frames shown in blue and duplicates shown in gray. In some applications, it might be beneficial to identify the first of the three identical frames (the frame with the least latency). The 32-bit frame counter provided in the telemetry lines (see [Telemetry Modes, page 19](#)) can be used for this purpose. It only increments on new frames, which is also illustrated in [Figure 22](#).

Figure 22 Frame Counter for Successive Frames



Information on this page is subject to change without notice. Shipping: CIP per INCOTERMS 2010. FLIR Proprietary-Confidential, and approved for distribution to authorized FLIR dealers only.



FLIR LEPTON® Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet



NOTE: Blue frames are different than the previous frames, gray frames are identical to the previous blue frame.

9.2.2.3.1 Establishing/Re-Establishing Sync

The basic process for establishing synchronization is listed below:

- Deassert /CS and idle SCK for at least 5 frame periods (>185 msec). This step ensures a timeout of the VoSPI interface, which puts the Lepton in the proper state to establish (or re-establish) synchronization.
- Assert /CS and enable SCLK. This action causes the Lepton to start transmission of a first packet.
- Examine the ID field of the packet, identifying a discard packet. Read out the entire packet.
- Continue reading packets. When a new frame is available (should be less than 39 msec after asserting /CS and reading the first packet), the first video packet will be transmitted. The master and slave are now synchronized.

9.2.2.3.2 Maintaining Sync

There are three main violations that can result in a loss of synchronization:

- Intra-packet timeout. Once a packet starts, it must be completely clocked out within 3 line periods. Provided that VoSPI clock rate is appropriately selected and that /CS is not de-asserted (or SCLK disrupted) in the midst of the packet transfer, an intra-packet timeout is an unexpected event.
- Failing to read out all packets for a given frame before the next frame is available. Two examples of this violation are shown in [Figure 24](#) and [Figure 25 on page 35](#). Note that the vertical blue line shown in the illustrations represents an internal frame-sync signal that indicates a new frame is ready for read-out.
- Failing to read out all available frames. This violation is depicted in [Figure 26 on page 35](#). Note that the requirement to read out all frames applies to both the unique and the duplicate frames.

A CRC error does not result in an automatic loss of synchronization. However, as mentioned previously, it is recommended to intentionally re-synchronize (de-assert /CS for >185 msec) following a CRC error.

The following figures are examples of violations that result in a loss of synchronization.

Information on this page is subject to change without notice. Shipping: CIP per INCOTERMS 2010.
FLIR Proprietary-Confidential, and approved for distribution to authorized FLIR dealers only.



The World's Sixth Sense™

FLIR LEPTON[®] Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet

Figure 23 Valid Frame Timing (no loss of synchronization)

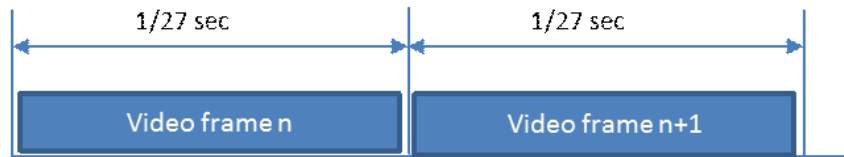


Figure 24 Clock Too Slow - Failure to Read an Entire Frame Within the Frame Period

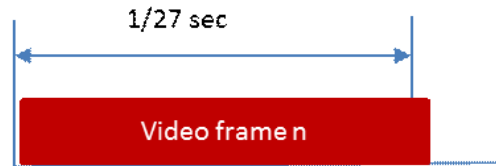


Figure 25 Intra-frame Delay Too Long - Failure to Read Out an Entire Frame Before the Next is Available

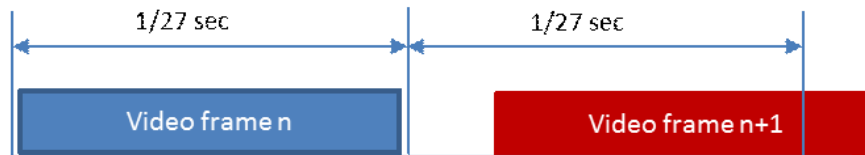
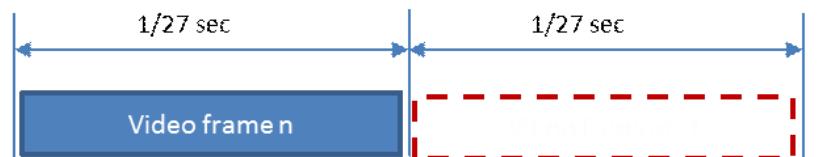


Figure 26 Failure to Read Out an Available Frame



9.3 MIPI Interface

An optional MIPI interface will be supplied in a later release of Lepton.

Information on this page is subject to change without notice. Shipping: CIP per INCOTERMS 2010. FLIR Proprietary-Confidential, and approved for distribution to authorized FLIR dealers only.

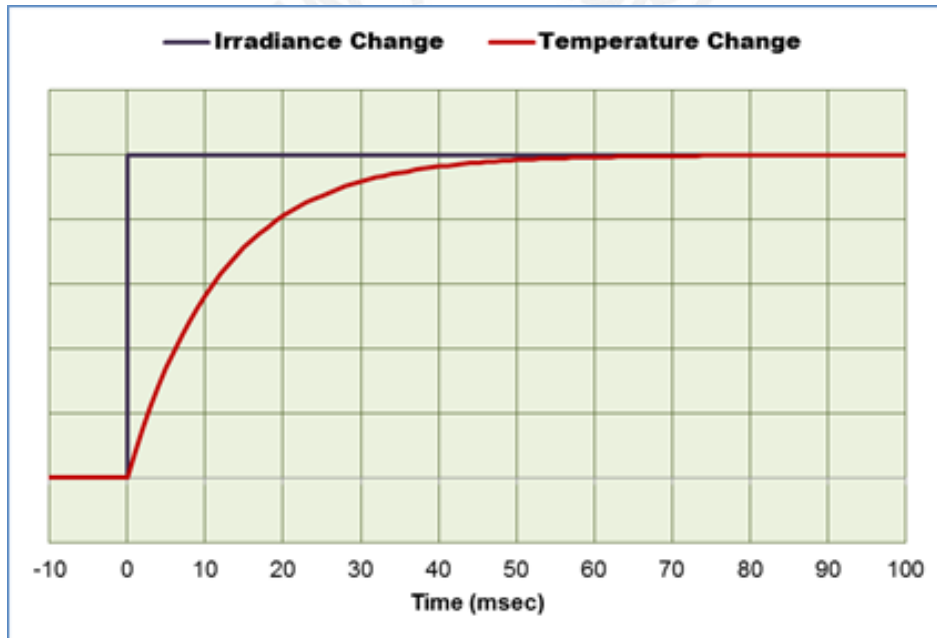


FLIR LEPTON® Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet

10.0 Thermal Camera Basics

It is noteworthy that the integration period for a thermal detector does not have the same impact on image formation as it does for a photon detector, such as a typical CMOS array. A photon detector converts incoming photons to electrons with near-instantaneous response time but only collects information from the scene during the integration period. In other words, high-speed phenomena (such as a strobed signal) can be missed entirely if the resulting photons are incident at a point in time when the detector is not integrating. A thermal detector, on the other hand, is always changing temperature in response to incident radiation. That is to say, it is always “active” regardless of whether or not it is being actively integrated. The integration period only refers to the time that resistance is being sensed by integration of current, not the time the sensor is actively responding to irradiance from the scene. The ability to detect high-speed phenomena is more a function of the detector's thermal time constant, which governs the rate of temperature change. For Lepton, the detector time constant is on the order of 12 msec, which means that an instantaneous irradiance change will result in a temperature change of the detector as shown in [Figure 27](#).

Figure 27 Illustration of Lepton Detector Time Constant



In addition to integrating signal current, the ROIC also digitizes and multiplexes the signal from each detector into a serial stream. And the Lepton ROIC digitizes data from an on-chip temperature sensor as well as a thermistor attached to the camera housing. An anti-reflection (AR) coated window is bonded above the sensor array via a wafer-level packaging (WLP) process, encapsulating the array in a vacuum. The purpose of the vacuum is to provide high thermal resistance between the microbolometer elements and the ROIC substrate, allowing for maximum temperature change in response to incident radiation.

Information on this page is subject to change without notice. Shipping: CIP per INCOTERMS 2010.
FLIR Proprietary-Confidential, and approved for distribution to authorized FLIR dealers only.



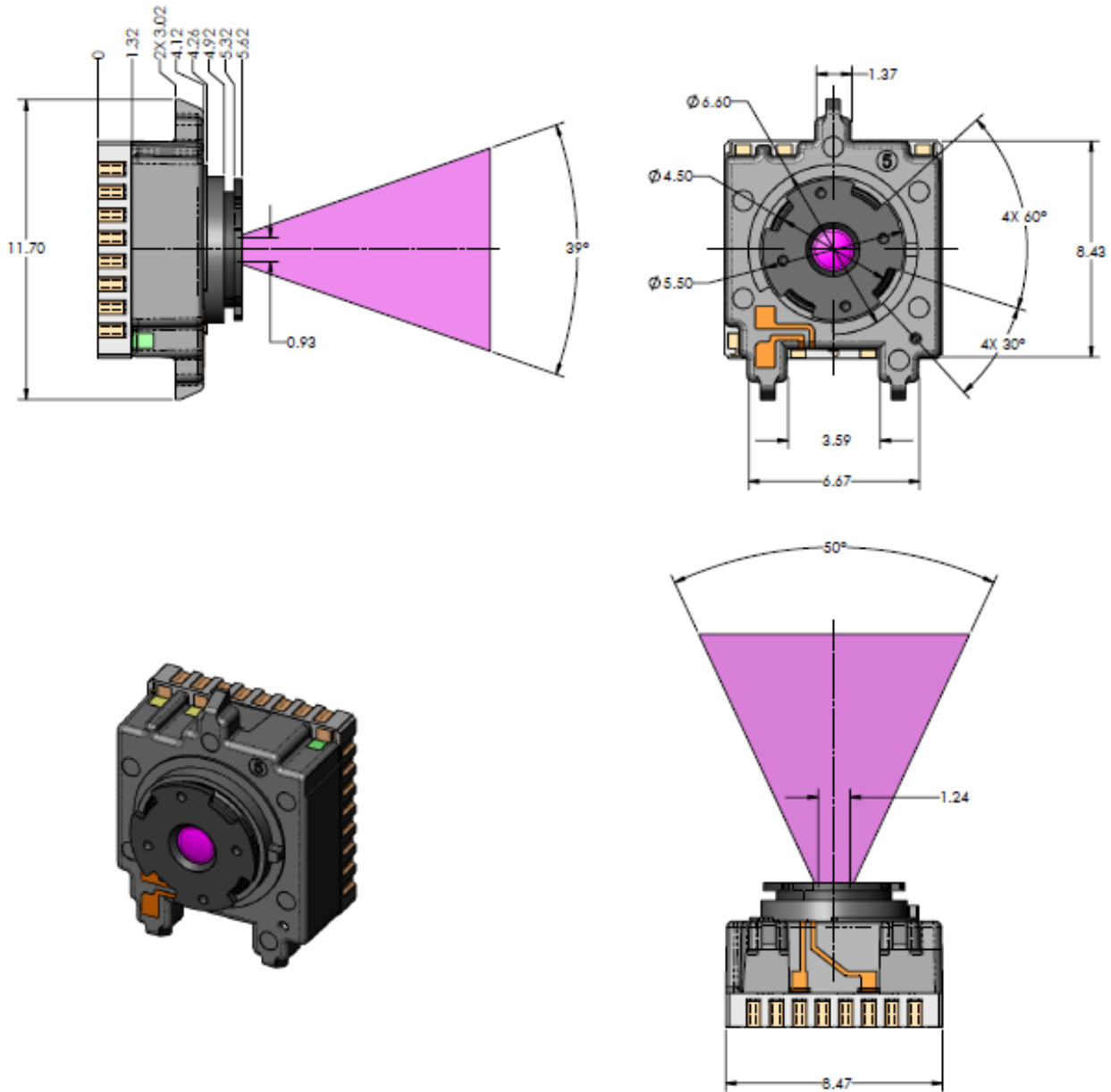
The World's Sixth Sense™

FLIR LEPTON® Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet

11.0 Mounting Specifications

The Lepton camera mounting dimensions are shown in *Figure 28*.

Figure 28 Lepton Camera Mounting Dimensions



Information on this page is subject to change without notice. Shipping: CIP per INCOTERMS 2010. FLIR Proprietary-Confidential, and approved for distribution to authorized FLIR dealers only.

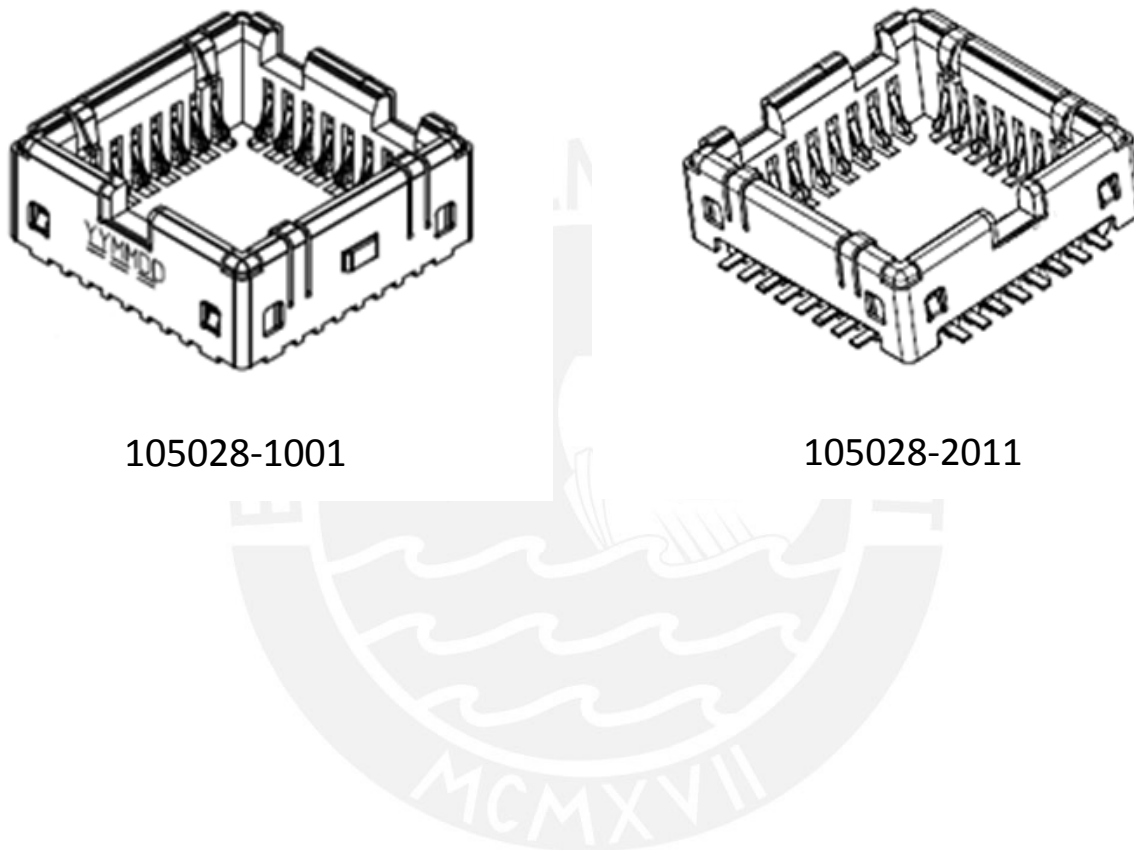


FLIR LEPTON® Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet

11.1 Socket Information

The Lepton module is compatible with two commercially-available sockets, Molex 1052028-1001 and Molex 105028-2011, illustrated in [Figure 29](#) below. The former makes electrical contact on the upper surface of a printed circuit board, the latter to the lower surface (with a cutout in the board that allows the socket to pass through). [Figure 30](#) depicts both socket configurations mounted on a PCB.

Figure 29 Two Commercially-available Sockets (both from Molex) Compatible with Lepton



105028-1001

105028-2011

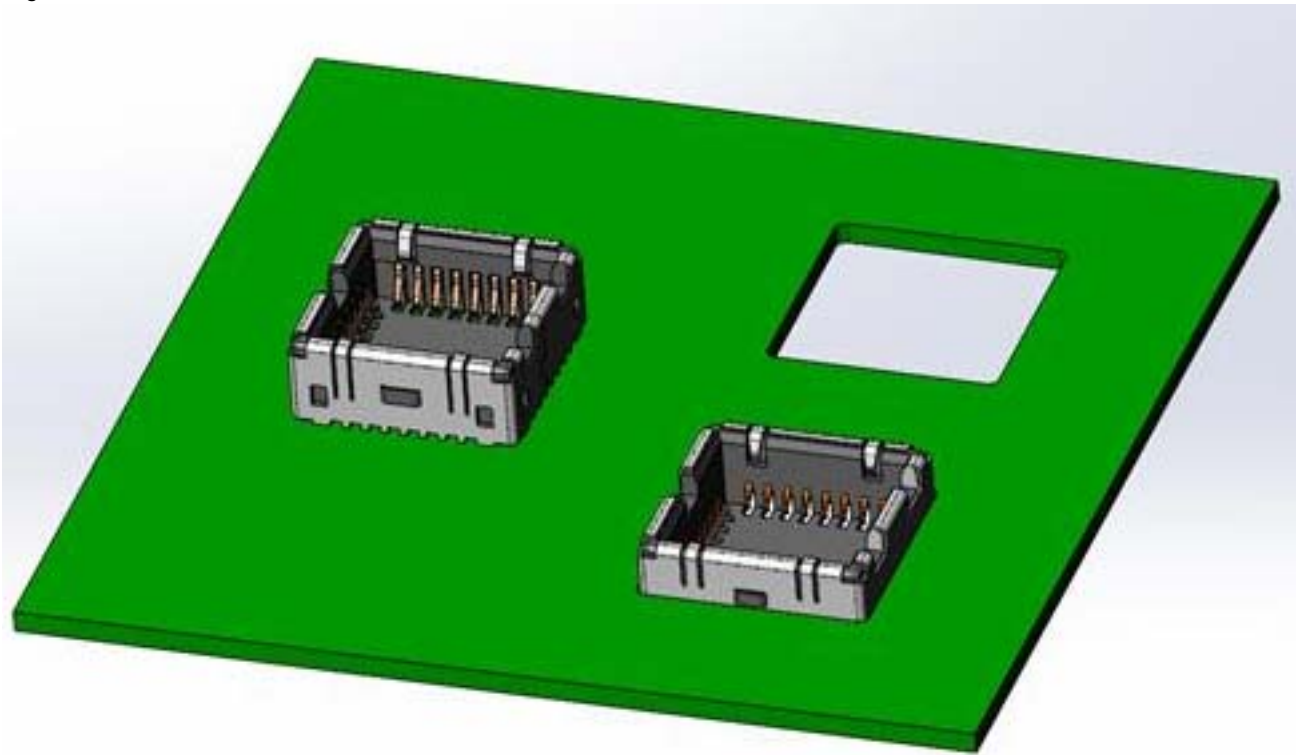
Information on this page is subject to change without notice. Shipping: CIP per INCOTERMS 2010.
FLIR Proprietary-Confidential, and approved for distribution to authorized FLIR dealers only.



The World's Sixth Sense™

FLIR LEPTON® Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet

Figure 30 Both Sockets Mounted on a PCB



Information on this page is subject to change without notice. Shipping: CIP per INCOTERMS 2010.
FLIR Proprietary-Confidential, and approved for distribution to authorized FLIR dealers only.

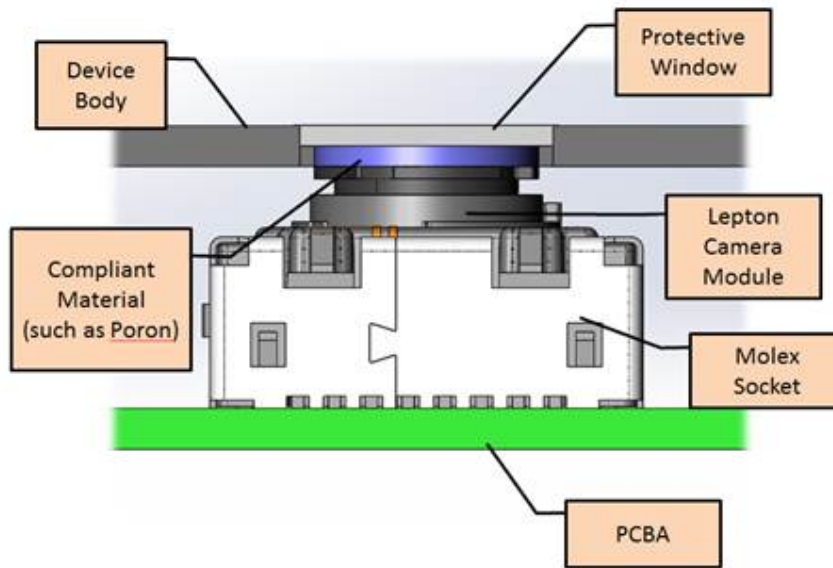


FLIR LEPTON® Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet

11.2 Mechanical Considerations

The socket is not intended to retain the Lepton assembly under high-shock conditions. It is recommended to incorporate front-side retention such as illustrated in [Figure 31](#).

Figure 31 Recommended Approach to Retaining Lepton in the end Application



The Lepton camera is not a sealed assembly. Consequently, for most applications it is recommended to locate the assembly behind a sealed protective window. Common materials for LWIR windows include silicon, germanium, and zinc selenide (LWIR absorption in silicon is on the order of 15%/mm, which means NEDT is adversely affected using a silicon window. Bulk absorption in germanium and zinc selenide is negligible, and performance is essentially unchanged provided both surfaces of the window are anti-reflection (AR) coated.) Note that the window should be sized large enough to avoid encroaching upon the optical keepout zone (see [Optical Considerations, page 41](#)).

11.3 Thermal Considerations

It is important to minimize any temperature gradient across the camera. The sensor should be mounted in such a fashion so as to isolate it from heat loads such as electronics, heaters, and non-symmetric external heating.

The surrounding area must be able to support and withstand the dissipation of up to 160 mW of heat by the camera.

Information on this page is subject to change without notice. Shipping: CIP per INCOTERMS 2010.
FLIR Proprietary-Confidential, and approved for distribution to authorized FLIR dealers only.

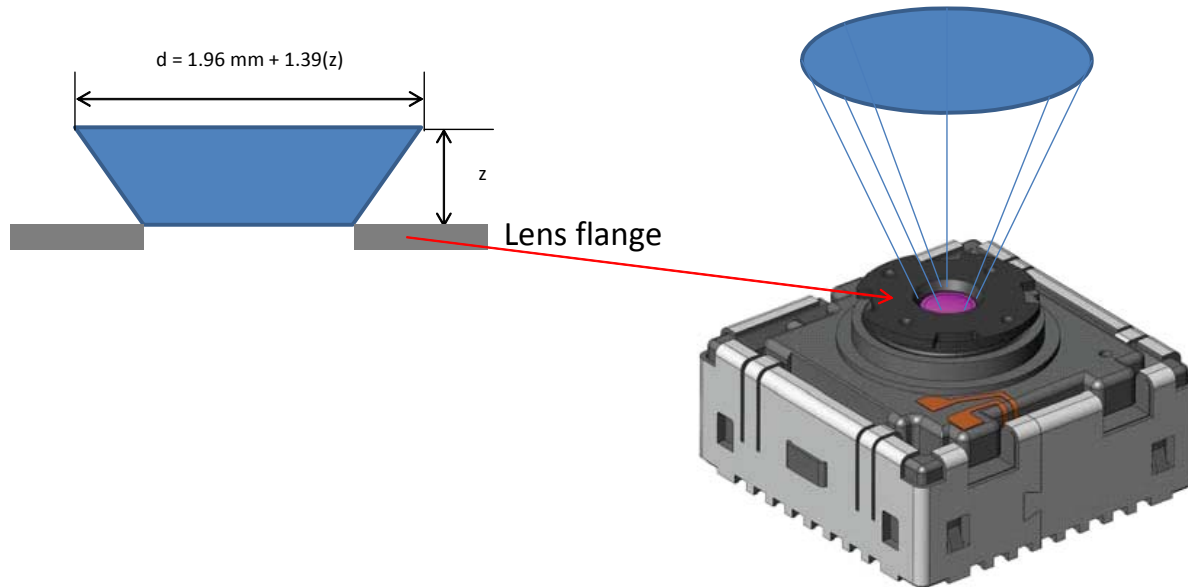


FLIR LEPTON® Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet

11.4 Optical Considerations

The optical keepout zone is shown in *Figure 32*. To avoid mechanical vignetting, do not impinge upon the keepout zone

Figure 32 Optical Keepout Zone



Information on this page is subject to change without notice. Shipping: CIP per INCOTERMS 2010.
FLIR Proprietary-Confidential, and approved for distribution to authorized FLIR dealers only.



FLIR LEPTON® Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet

12.0 Image Characteristics

The information given in [Table 8](#) applies across the full operating temperature range.

Table 8 Image Characteristics

Parameter	Description	Value
NETD	Noise Equivalent Temperature Difference (random temporal noise)	<50 mK (20 mK typical)
Intrascene Range	Minimum and maximum scene temperature	0 K to >400 K
Operability	Number of non-defective pixels	>99.0% (<1 defect typical)
Clusters	Number of adjacent defective pixels “Adjacent” means any of the 8 nearest neighbors (or nearest 5 for an edge pixel, nearest 3 for a corner).	Unallowed ¹

Note(s)

1. : Only single-pixel defects are allowed (no clusters)

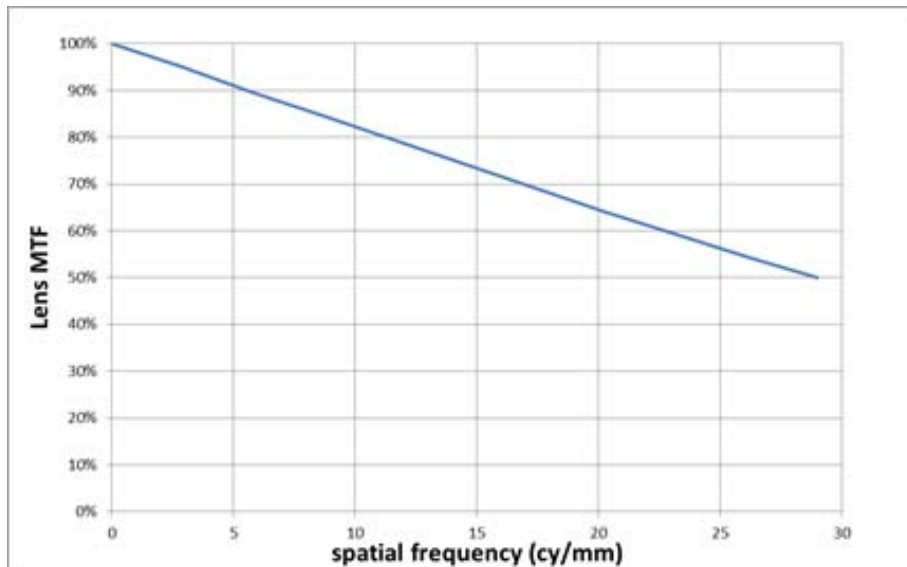
The nominal curve of on-axis modulation transfer function (MTF) for the Lepton lens assembly is shown for reference in [Figure 33](#).

Information on this page is subject to change without notice. Shipping: CIP per INCOTERMS 2010.
FLIR Proprietary-Confidential, and approved for distribution to authorized FLIR dealers only.



FLIR LEPTON[®] Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet

Figure 33 Nominal Curve of On-axis Modulation Transfer Function (MTF)



Information on this page is subject to change without notice. Shipping: CIP per INCOTERMS 2010. FLIR Proprietary-Confidential, and approved for distribution to authorized FLIR dealers only.

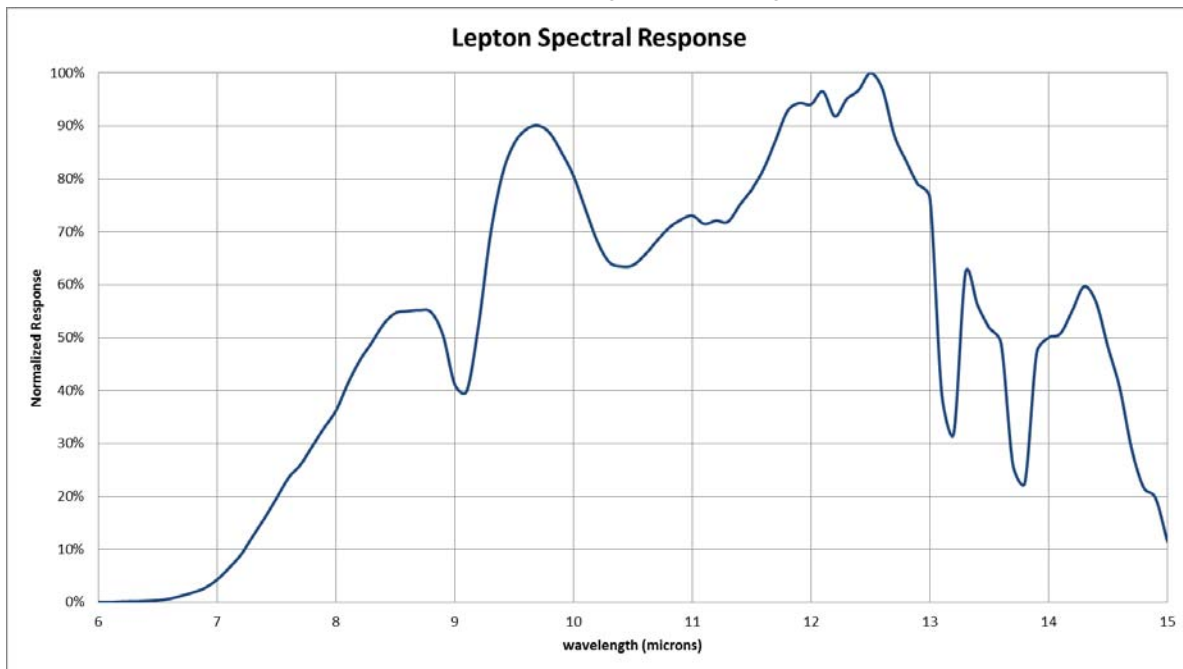


FLIR LEPTON® Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet

13.0 Spectral Response

For reference, *Figure 34* depicts the spectral response of the Lepton camera

Figure 34 Normalized Response as a Function of Signal Wavelength



Information on this page is subject to change without notice. Shipping: CIP per INCOTERMS 2010.
FLIR Proprietary-Confidential, and approved for distribution to authorized FLIR dealers only.



FLIR LEPTON® Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet

14.0 Electrical Specifications

14.1 DC and Logic Level Specifications

Table 9 DC and Logic Levels

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Units
VDDC	Core Voltage (primary power for the Lepton internal ASIC)	1.14	1.20	1.26	Volts
VDD	Sensor Voltage (primary power for the Lepton internal sensor chip)	2.72	2.80	2.88	Volts
VDDIO	I/O Voltage (primary power for the Lepton I/O ring)	2.5	—	3.1	Volts
I_DDC	Supply current for core (VDDC)	76	84	110	mA
I_DD	Supply current for sensor (VDD)	12	14	16 ¹	mA
I_DDIO	Supply current for I/O ring (VDDIO)	1	2	4	mA

Note(s)

1. Maximum at 65 degrees C

14.2 AC Electrical Characteristics

Table 10 AC Electrical Characteristics

Parameter	Min	Typ	Max	Units
MASTER_CLK, F _{clk}	TBD	25 MHz	TBD	Master clock rate
MASTER_CLK, F _{clk} duty	45%	50%	55%	Master clock duty cycle
MASTER_CLK, t _r	--	--	TBD	Clock rise time (10% to 90%)
MASTER_CLK, t _f	--	--	TBD	Clock fall time (90% to 10%)
SPI_CLK, F _{clk}	See note ¹		20 MHz	VoSPI clock rate
SPI_CLK, F _{clk} duty	45%	50%	55%	SPI-clock duty cycle

Information on this page is subject to change without notice. Shipping: CIP per INCOTERMS 2010.
 FLIR Proprietary-Confidential, and approved for distribution to authorized FLIR dealers only.



The World's Sixth Sense™

FLIR LEPTON® Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet

Table 10 AC Electrical Characteristics (continued)

Parameter	Min	Typ	Max	Units
SPI_CLK, tr	--	--	TBD	SPI clock rise time (10% to 90%)
SPI_CLK, tf	--	--	TBD	SPI clock fall time (90% to 10%)
SCL, Fclk			1 MHz	I2C clock rate
SCL, Fclk duty	45%	50%	55%	I2C-clock duty cycle
SCL_CLK, tr	--	--	TBD	I2C clock rise time (10% to 90%)
SCL_CLK, tf	--	--	TBD	I2C clock fall time (90% to 10%)

Note(s)

- As described in [VoSPI Protocol, page 30](#), the minimum VoSPI clock frequency is dependent upon the requirement to read out all video packets for a given frame within the frame period. The size and number of video packets vary with user settings.

15.0 Absolute Maximum Ratings

Electrical stresses beyond those listed in [Table 11](#) may cause permanent damage to the device. These are stress rating only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under the recommended operating conditions listed in [Table 9 on page 45](#) is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods of time may affect device reliability.

Table 11 Absolute Maximum Ratings

Parameter	Absolute Maximum Rating
Core Voltage (VDDC)	1.5 V
Sensor Voltage (VDD)	4.8 V
I/O Voltage (VDDIO)	4.8 V
Voltage on any I/O pin	4.8 V

Information on this page is subject to change without notice. Shipping: CIP per INCOTERMS 2010.
 FLIR Proprietary-Confidential, and approved for distribution to authorized FLIR dealers only.



FLIR LEPTON® Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet

16.0 Environmental Specifications

Environmental stresses beyond those listed may cause permanent damage to the device. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods of time may affect device reliability.

Table 12 Environmental Specifications

Stress	Maximum Rating
Operating Temperature Range	-10° C to 65° C (-20° C to 75° C with some possible performance degradation)
Maximum Operating Temperature	80 °C ¹
Storage Temperature	-40° C to 80° C
Altitude (pressure)	12 km altitude equivalent
Relative Humidity	95%
Thermal Shock	Air-to-air across operating temp. extremes (-10° C to 65° C, 65° C to -10° C)
Mechanical Shock	1500 g, 0.4 msec
Vibration	Transportation profile, 4.3 grms
ESD	Human Body Model (HBM), 2kV Charged Device Model (CDM), 500V

Note(s)

1. Lepton contains an automatic shutdown feature when its internal temperature exceeds the maximum safe operating value. See [Power States, page 13](#).

16.1 Compliance with Environmental Directives

Lepton complies with the following directives and regulations:

- Directive 2002/95/EC, “Restriction of the use of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment (RoHS)”
- Directive 2002/96/ EC, “Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)”.
- Regulation (EC) 1907/2006, “Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals (REACH)”

Information on this page is subject to change without notice. Shipping: CIP per INCOTERMS 2010.
FLIR Proprietary-Confidential, and approved for distribution to authorized FLIR dealers only.



The World's Sixth Sense™

FLIR LEPTON® Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet

17.0 Abbreviations and Acronyms

Abbreviation	Description
AGC	Automatic Gain Control
AR	Anti-reflection
CCI	Command and Control Interface
CRC	Cyclic Redundancy Check
DSP	Digital Signal Processor
EMC	Electromagnetic Compatibility
FFC	Flat Field Correction
FOV	Field of View
FPA	Focal Plane Array
FPN	Fixed Pattern Noise
GPIO	General Purpose IO
HFOV	Horizontal Field of View
I2C	Inter-Integrated Circuit
IDD	Interface Description Document
LWIR	Long Wave Infrared
MIPI	Mobile Industry Processor Interface
MISO	Maser In/Slave Out
MOSI	Master Out/Slave In
NEDT	Noise Equivalent Differential Temperature
NUC	Non-Uniformity Correction
OTP	One-Time Programmable
PLL	Phase-Lock Loop
REACH	Registration, Evaluation, Authorization, and Restriction of Chemicals
RoHS	Reduction of Hazardous Substances

Information on this page is subject to change without notice. Shipping: CIP per INCOTERMS 2010.
FLIR Proprietary-Confidential, and approved for distribution to authorized FLIR dealers only.



FLIR LEPTON® Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet

ROIC	Readout Integrated Circuit
SBNUC	Scene-based Non-uniformity Correction
SNR	Signal to Noise Ratio
SoC	System on a Chip
SPI	Serial Peripheral Interface
SVP	Software-based Video Processing
TCR	Temperature Coefficient of Resistance
TWI	Two-wire Interface
VoSPI	Video Over SPI
VOx	Vanadium-oxide
WEEE	Waste Electrical and Electronic Equipment
WLP	Wafer-level Packaging

Information on this page is subject to change without notice. Shipping: CIP per INCOTERMS 2010.
FLIR Proprietary-Confidential, and approved for distribution to authorized FLIR dealers only.



FLIR LEPTON® Long Wave Infrared (LWIR) Datasheet

© FLIR Commercial Systems, 2014. All rights reserved worldwide. No parts of this manual, in whole or in part, may be copied, photocopied, translated, or transmitted to any electronic medium or machine readable form without the prior written permission of FLIR Commercial Systems

Names and marks appearing on the products herein are either registered trademarks or trademarks of FLIR Commercial Systems and/or its subsidiaries. All other trademarks, trade names, or company names referenced herein are used for identification only and are the property of their respective owners.

Liberation fonts are copyright 2009 by RedHat and are used under authority of the GNU public license. Information about these fonts and the GNU public license can be found at: <https://www.redhat.com/promo/fonts/>.

This product is protected by patents, design patents, patents pending, or design patents pending.

If you have questions that are not covered in this manual, or need service, contact FLIR Commercial Systems Customer Support at 805.964.9797 for additional information prior to returning a camera.

This documentation and the requirements specified herein are subject to change without notice.



This equipment must be disposed of as electronic waste. Contact your nearest FLIR Commercial Systems, Inc. representative for instructions on how to return the product to FLIR for proper disposal.

FCC Notice. This device is a subassembly designed for incorporation into other products in order to provide an infrared camera function. It is not an end-product fit for consumer use. When incorporated into a host device, the end-product will generate, use, and radiate radio frequency energy that may cause radio interference. As such, the end-product incorporating this subassembly must be tested and approved under the rules of the Federal Communications Commission (FCC) before the end-product may be offered for sale or lease, advertised, imported, sold, or leased in the United States. The FCC regulations are designed to provide reasonable protection against interference to radio communications. See 47 C.F.R. §§ 2.803 and 15.1 et seq.

Industry Canada Notice. This device is a subassembly designed for incorporation into other products in order to provide an infrared camera function. It is not an end-product fit for consumer use. When incorporated into a host device, the end-product will generate, use, and radiate radio frequency energy that may cause radio interference. As such, the end-product incorporating this subassembly must be tested for compliance with the Interference-Causing Equipment Standard, Digital Apparatus, ICES-003, of Industry Canada before the product incorporating this device may be: manufactured or offered for sale or lease, imported, distributed, sold, or leased in Canada.

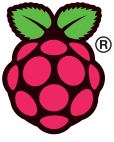
Avis d'Industrie Canada. Cet appareil est un sous-ensemble conçu pour être intégré à un autre produit afin de fournir une fonction de caméra infrarouge. Ce n'est pas un produit final destiné aux consommateurs. Une fois intégré à un dispositif hôte, le produit final va générer, utiliser et émettre de l'énergie radiofréquence qui pourrait provoquer de l'interférence radio. En tant que tel, le produit final intégrant ce sous-ensemble doit être testé pour en vérifier la conformité avec la Norme sur le matériel brouilleur pour les appareils numériques (NMB-003) d'Industrie Canada avant que le produit intégrant ce dispositif puisse être fabriqué, mis en vente ou en location, importé, distribué, vendu ou loué au Canada.

EU Notice. This device is a subassembly or component intended only for product evaluation, development or incorporation into other products in order to provide an infrared camera function. It is not a finished end-product fit for general consumer use. Persons handling this device must have appropriate electronics training and observe good engineering practice standards. As such, this product does not fall within the scope of the European Union (EU) directives regarding electromagnetic compatibility (EMC). Any end-product intended for general consumer use that incorporates this device must be tested in accordance and comply with all applicable EU EMC and other relevant directives.

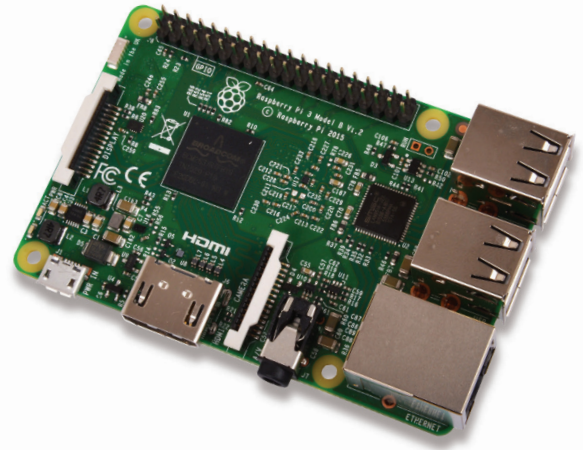
Information on this page is subject to change without notice. Shipping: CIP per INCOTERMS 2010.
FLIR Proprietary-Confidential, and approved for distribution to authorized FLIR dealers only.



The World's Sixth Sense™



Raspberry Pi

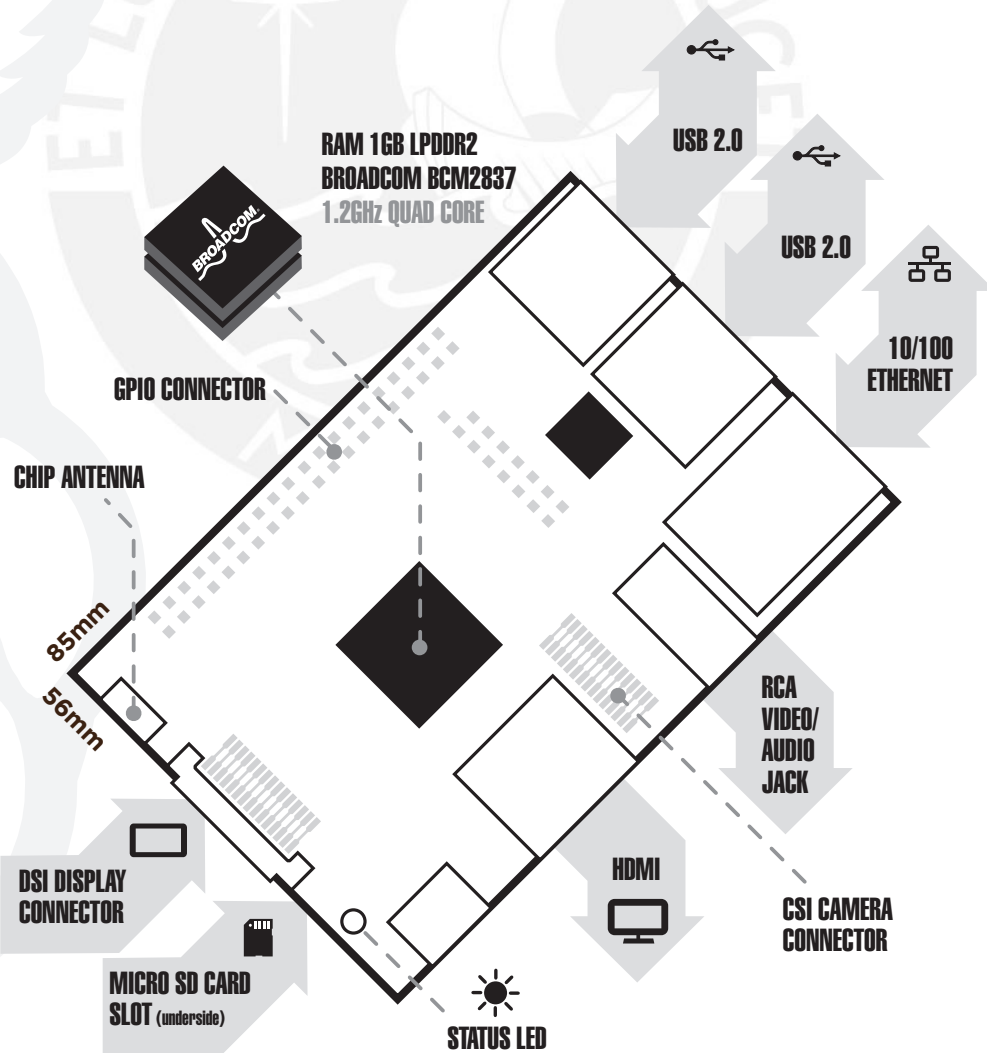


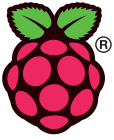
Raspberry Pi 3 Model B

Product Name Raspberry Pi 3

Product Description The Raspberry Pi 3 Model B is the third generation Raspberry Pi. This powerful credit-card sized single board computer can be used for many applications and supersedes the original Raspberry Pi Model B+ and Raspberry Pi 2 Model B. Whilst maintaining the popular board format the Raspberry Pi 3 Model B brings you a more powerful processor, 10x faster than the first generation Raspberry Pi. Additionally it adds wireless LAN & Bluetooth connectivity making it the ideal solution for powerful connected designs.

RS Part Number 896-8660





Raspberry Pi

Raspberry Pi 3 Model B

Specifications

Processor	Broadcom BCM2387 chipset. 1.2GHz Quad-Core ARM Cortex-A53 802.11 b/g/n Wireless LAN and Bluetooth 4.1 (Bluetooth Classic and LE)
GPU	Dual Core VideoCore IV® Multimedia Co-Processor. Provides Open GL ES 2.0, hardware-accelerated OpenVG, and 1080p30 H.264 high-profile decode. Capable of 1Gpixel/s, 1.5Gtexel/s or 24GFLOPs with texture filtering and DMA infrastructure
Memory	1GB LPDDR2
Operating System	Boots from Micro SD card, running a version of the Linux operating system or Windows 10 IoT
Dimensions	85 x 56 x 17mm
Power	Micro USB socket 5V1, 2.5A

Connectors:

Ethernet	10/100 BaseT Ethernet socket
Video Output	HDMI (rev 1.3 & 1.4) Composite RCA (PAL and NTSC)
Audio Output	Audio Output 3.5mm jack, HDMI USB 4 x USB 2.0 Connector
GPIO Connector	40-pin 2.54 mm (100 mil) expansion header: 2x20 strip Providing 27 GPIO pins as well as +3.3 V, +5 V and GND supply lines
Camera Connector	15-pin MIPI Camera Serial Interface (CSI-2)
Display Connector	Display Serial Interface (DSI) 15 way flat flex cable connector with two data lanes and a clock lane
Memory Card Slot	Push/pull Micro SDIO

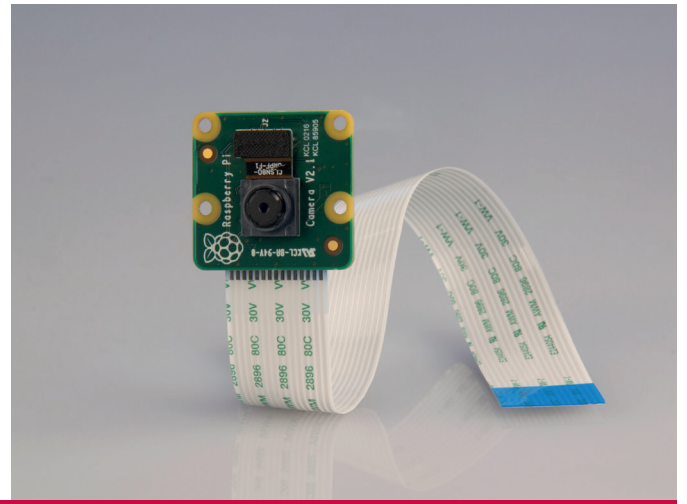
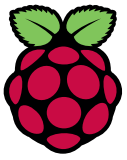
Key Benefits

- Low cost
- 10x faster processing
- Consistent board format
- Added connectivity

Key Applications

- Low cost PC/tablet/laptop
- Media centre
- Industrial/Home automation
- Print server
- Web camera
- Wireless access point
- Environmental sensing/monitoring (e.g. weather station)
- IoT applications
- Robotics
- Server/cloud server
- Security monitoring
- Gaming





Camera Module

Product Name	Raspberry Pi Camera Module
Product Description	High Definition camera module compatible with all Raspberry Pi models. Provides high sensitivity, low crosstalk and low noise image capture in an ultra small and lightweight design. The camera module connects to the Raspberry Pi board via the CSI connector designed specifically for interfacing to cameras. The CSI bus is capable of extremely high data rates, and it exclusively carries pixel data to the processor.
RS Part Numer	913-2664
Specifications	
Image Sensor	Sony IMX 219 PQ CMOS image sensor in a fixed-focus module.
Resolution	8-megapixel
Still picture resolution	3280 x 2464
Max image transfer rate	1080p: 30fps (encode and decode) 720p: 60fps
Connection to Raspberry Pi	15-pin ribbon cable, to the dedicated 15-pin MIPI Camera Serial Interface (CSI-2).
Image control functions	Automatic exposure control Automatic white balance Automatic band filter Automatic 50/60 Hz luminance detection Automatic black level calibration
Temp range	Operating: -20° to 60° Stable image: -20° to 60°
Lens size	1/4"
Dimensions	23.86 x 25 x 9mm
Weight	3g

Tiva™ C Series TM4C123G LaunchPad Evaluation Board

User's Guide



Literature Number: SPMU296

April 2013

1	Board Overview	4
1.1	Kit Contents	5
1.2	Using the Tiva C Series LaunchPad	5
1.3	Features	5
1.4	BoosterPacks	6
1.5	Specifications	6
2	Hardware Description	7
2.1	Functional Description	7
2.1.1	Microcontroller	7
2.1.2	USB Connectivity	8
2.1.3	Motion Control	8
2.1.4	User Switches and RGB User LED	9
2.1.5	Headers and BoosterPacks	9
2.2	Power Management	11
2.2.1	Power Supplies	11
2.2.2	Hibernate	11
2.2.3	Clocking	12
2.2.4	Reset	12
2.3	In-Circuit Debug Interface (ICDI)	12
2.3.1	Virtual COM Port	12
3	Software Development	13
3.1	Software Description	13
3.2	Source Code	13
3.3	Tool Options	13
3.4	Programming the Tiva C Series LaunchPad Evaluation Board	14
4	References, PCB Layout, and Bill of Materials	15
4.1	References	15
4.2	Component Locations	16
4.3	Bill of Materials (BOM)	17
A	Schematics	19

List of Figures

1-1.	Tiva C Series TM4C123G LaunchPad Evaluation Board.....	4
2-1.	Tiva C Series LaunchPad Evaluation Board Block Diagram.....	7
4-1.	Tiva C Series LaunchPad Component Locations (Top View)	16
4-2.	Tiva C Series LaunchPad Dimensions	17

List of Tables

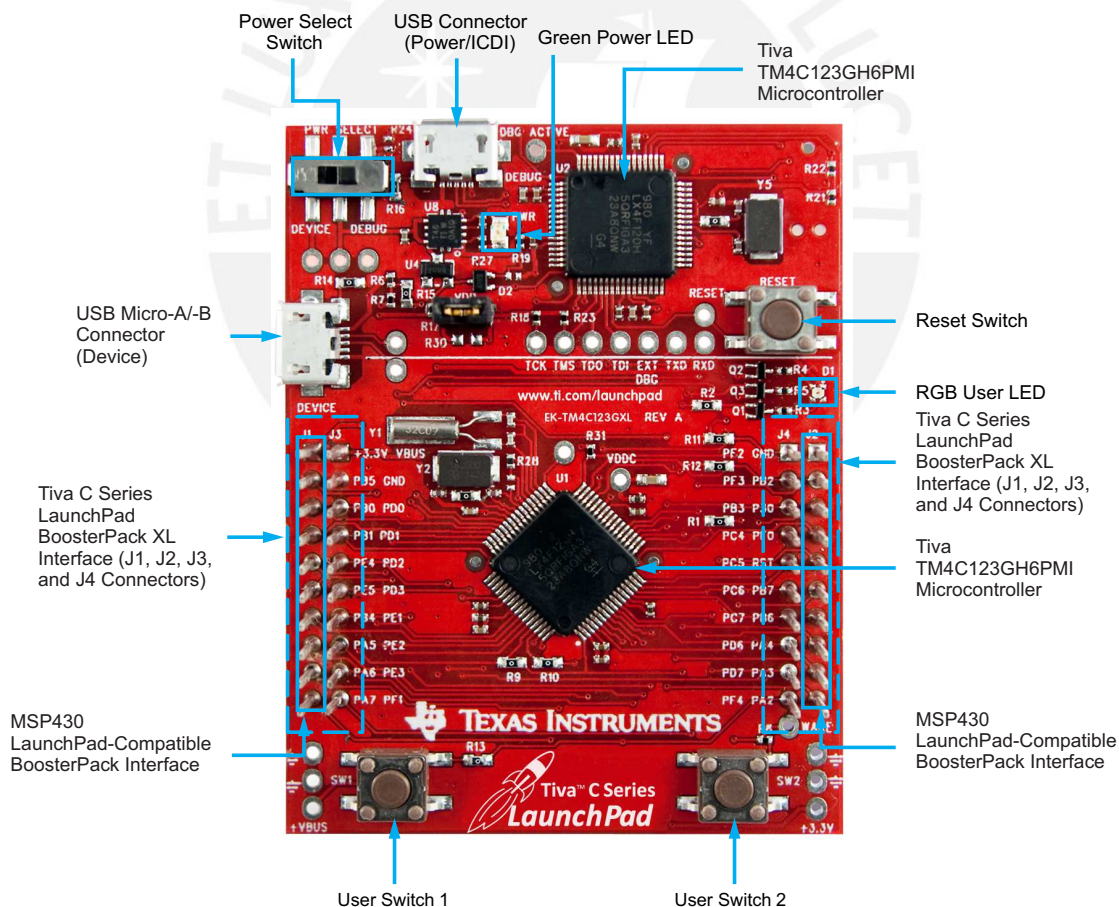
1-1.	EK-TM4C123GXL Specifications	6
2-1.	USB Device Signals	8
2-2.	User Switches and RGB LED Signals	9
2-3.	J1 Connector	9
2-4.	J2 Connector.....	10
2-5.	J3 Connector.....	10
2-6.	J4 Connector.....	11
2-7.	In-Circuit Debug Interface (ICDI) Signals	12
2-8.	Virtual COM Port Signals.....	12
4-1.	EK-TM4C123GXL Bill of Materials	17



Board Overview

The Tiva™ C Series TM4C123G LaunchPad Evaluation Board ([EK-TM4C123GXL](#)) is a low-cost evaluation platform for ARM® Cortex™-M4F-based microcontrollers. The Tiva C Series LaunchPad design highlights the [TM4C123GH6PMI](#) microcontroller USB 2.0 device interface, hibernation module, and motion control pulse-width modulator (MC PWM) module. The Tiva C Series LaunchPad also features programmable user buttons and an RGB LED for custom applications. The stackable headers of the Tiva C Series TM4C123G LaunchPad BoosterPack XL interface demonstrate how easy it is to expand the functionality of the Tiva C Series LaunchPad when interfacing to other peripherals on many existing BoosterPack add-on boards as well as future products. [Figure 1-1](#) shows a photo of the Tiva C Series LaunchPad.

Figure 1-1. Tiva C Series TM4C123G LaunchPad Evaluation Board



Tiva, MSP430, Code Composer Studio are trademarks of Texas Instruments.
Cortex is a trademark of ARM Limited.
ARM, RealView are registered trademarks of ARM Limited.
Microsoft, Windows are registered trademarks of Microsoft Corporation.
All other trademarks are the property of their respective owners.

1.1 Kit Contents

The Tiva C Series TM4C123G LaunchPad Evaluation Kit contains the following items:

- Tiva C Series LaunchPad Evaluation Board (EK-TM4C123GXL)
- On-board In-Circuit Debug Interface (ICDI)
- USB micro-B plug to USB-A plug cable
- [README First](#) document

1.2 Using the Tiva C Series LaunchPad

The recommended steps for using the Tiva C Series TM4C123G LaunchPad Evaluation Kit are:

1. **Follow the README First document included in the kit.** The README First document will help you get the Tiva C Series LaunchPad up and running in minutes. See the [Tiva C Series LaunchPad web page](#) for additional information to help you get started.
2. **Experiment with LaunchPad BoosterPacks.** A selection of Tiva C Series BoosterPacks and compatible MSP430™ BoosterPacks can be found at the [TI MCU LaunchPad web page](#).
3. **Take your first step toward developing an application with Project 0 using your preferred ARM tool-chain and the Tiva C Series TivaWare Peripheral Driver Library.** Software applications are loaded using the on-board In-Circuit Debug Interface (ICDI). See [Chapter 3, Software Development](#), for the programming procedure. The [TivaWare for C Series Peripheral Driver Library Software Reference Manual](#) contains specific information on software structure and function. For more information on Project 0, go to the [Tiva C Series LaunchPad wiki page](#).
4. **Customize and integrate the hardware to suit an end application.** This user's manual is an important reference for understanding circuit operation and completing hardware modification.

You can also view and download almost six hours of training material on configuring and using the LaunchPad. Visit the [Tiva C Series LaunchPad Workshop](#) for more information and tutorials.

1.3 Features

Your Tiva C Series LaunchPad includes the following features:

- Tiva TM4C123GH6PMI microcontroller
- Motion control PWM
- USB micro-A and micro-B connector for USB device, host, and on-the-go (OTG) connectivity
- RGB user LED
- Two user switches (application/wake)
- Available I/O brought out to headers on a 0.1-in (2.54-mm) grid
- On-board ICDI
- Switch-selectable power sources:
 - ICDI
 - USB device
- Reset switch
- Preloaded RGB quickstart application
- Supported by TivaWare for C Series software including the USB library and the peripheral driver library
- Tiva C Series TM4C123G LaunchPad BoosterPack XL Interface, which features stackable headers to expand the capabilities of the Tiva C Series LaunchPad development platform
 - For a complete list of available BoosterPacks that can be used with the Tiva C Series LaunchPad, see the [LaunchPad web page](#).

1.4 BoosterPacks

The Tiva C Series LaunchPad provides an easy and inexpensive way to develop applications with the TM4C123GH6PM microcontroller. Tiva C Series BoosterPacks and MSP430 BoosterPacks expand the available peripherals and potential applications of the Tiva C Series LaunchPad. BoosterPacks can be used with the Tiva C Series LaunchPad or you can simply use the on-board TM4C123GH6PM microcontroller as its processor. See [Chapter 2](#) for more information.

Build your own BoosterPack and take advantage of [Texas Instruments' website](#) to help promote it! From sharing a new idea or project, to designing, manufacturing, and selling your own BoosterPack kit, TI offers a variety of avenues for you to reach potential customers with your solutions.

1.5 Specifications

[Table 1-1](#) summarizes the specifications for the Tiva C Series LaunchPad.

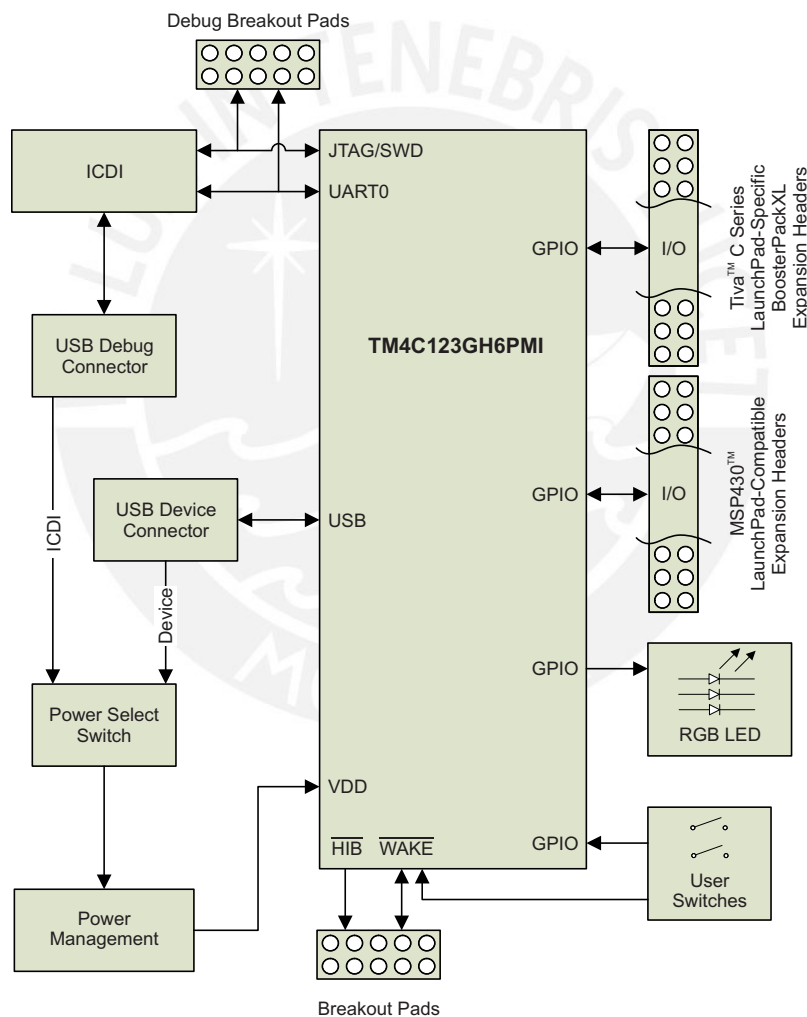
Table 1-1. EK-TM4C123GXL Specifications

Parameter	Value
Board supply voltage	4.75 V _{DC} to 5.25 V _{DC} from one of the following sources: <ul style="list-style-type: none"> • Debugger (ICDI) USB Micro-B cable (connected to a PC) • USB Device Micro-B cable (connected to a PC)
Dimensions	2.0 in x 2.25 in x 0.425 in (5.0 cm x 5.715 cm x 10.795 mm) (L x W x H)
Break-out power output	<ul style="list-style-type: none"> • 3.3 V_{DC} (300 mA max) • 5.0 V_{DC} (depends on 3.3 V_{DC} usage, 23 mA to 323 mA)
RoHS status	Compliant

Hardware Description

The Tiva C Series LaunchPad includes a TM4C123GH6PM microcontroller and an integrated ICDI as well as a range of useful peripheral features (as the block diagram in Figure 2-1 shows). This chapter describes how these peripherals operate and interface to the microcontroller.

Figure 2-1. Tiva C Series LaunchPad Evaluation Board Block Diagram



2.1 Functional Description

2.1.1 Microcontroller

The TM4C123GH6PM is a 32-bit ARM Cortex-M4-based microcontroller with 256-kB Flash memory, 32-kB SRAM, and 80-MHz operation; USB host, device, and OTG connectivity; a Hibernation module and PWM; and a wide range of other peripherals. See the [TM4C123GH6PM microcontroller data sheet](#) (literature number [SPMS376](#)) for complete device details.

Most of the microcontroller signals are routed to 0.1-in (2.54-mm) pitch headers. An internal multiplexer allows different peripheral functions to be assigned to each of these GPIO pads. When adding external circuitry, consider the additional load on the evaluation board power rails.

The TM4C123GH6PM microcontroller is factory-programmed with a quickstart demo program. The quickstart program resides in on-chip Flash memory and runs each time power is applied, unless the quickstart application has been replaced with a user program.

2.1.2 USB Connectivity

The EK-TM4C123GXL is designed and functions as a USB device without hardware modification. The USB device signals are dedicated to USB functionality and are not shared with the BoosterPack headers. The USB device signals are listed in [Table 2-1](#).

Table 2-1. USB Device Signals

GPIO Pin	Pin Function	USB Device
PD4	USB0DM	D-
PD5	USB0DP	D+

The TM4C123GH6PM target device is also capable of USB embedded host and on-the-go (OTG) functions. OTG functionality can be enabled by populating R25 and R29 with 0-Ω resistors. These resistors connect the USB ID and USB V_{BUS} signals to PB0 and PB1. When these resistors are populated, PB0 and PB1 must remain in the respective USB pin mode configurations to prevent device damage. PB0 and PB1 are also present on the J1 BoosterPack header. Therefore, if R25 or R29 are populated, care must be taken not to conflict these signals with BoosterPack signals.

USB embedded host operation can be enabled in the same way for USB devices that are self-powered. Providing power when acting as a USB host requires a BoosterPack with power switching and appropriate connectors. All USB host signals are available on the BoosterPack interface except D+ and D-, which are only available on the USB micro-A/-B connector and the two adjacent test points.

When connected as a USB device, the evaluation board can be powered from either the ICD1 or the USB Device connectors. The user can select the power source by moving the POWER SELECT switch (SW3) to the Device position. See the *Power Management* schematic (appended to this document).

2.1.3 Motion Control

The EK-TM4C123GXL includes the Tiva C-Series Motion Control PWM technology, featuring two PWM modules capable of generating 16 PWM outputs. Each PWM module provides a great deal of flexibility and can generate simple PWM signals—for example, those required by a simple charge pump—as well as paired PWM signals with dead-band delays, such as those required by a half-H bridge driver. Three generator blocks can also generate the full six channels of gate controls required by a 3-phase inverter bridge.

Two quadrature encoder interfaces (QE1) are also available to provide motion control feedback. See the [Headers and BoosterPacks](#) section of this document for details about the availability of these signals on the BoosterPack interface.

2.1.4 User Switches and RGB User LED

The Tiva C Series LaunchPad comes with an RGB LED. This LED is used in the preloaded RGB quickstart application and can be configured for use in custom applications.

Two user buttons are included on the board. The user buttons are both used in the preloaded quickstart application to adjust the light spectrum of the RGB LED as well as go into and out of hibernation. The user buttons can be used for other purposes in the user's custom application.

The evaluation board also has a green power LED. [Table 2-2](#) shows how these features are connected to the pins on the microcontroller.

Table 2-2. User Switches and RGB LED Signals

GPIO Pin	Pin Function	USB Device
PF4	GPIO	SW1
PF0	GPIO	SW2
PF1	GPIO	RGB LED (Red)
PF2	GPIO	RGB LED (Blue)
PF3	GPIO	RGB LED (Green)

2.1.5 Headers and BoosterPacks

The two double rows of stackable headers are mapped to most of the GPIO pins of the TM4C123GH6PM microcontroller. These rows are labeled as connectors J1, J2, J3, and J4. Connectors J3 and J4 are located 0.1 in (2.54 mm) inside of the J1 and J2 connectors. All 40 header pins of the J1, J2, J3, and J4 connectors make up the Tiva C Series TM4C123G LaunchPad BoosterPack XL Interface. [Table 2-3](#) through [Table 2-6](#) show how these header pins are connected to the microcontroller pins and which GPIO functions can be selected.

NOTE: To configure the device peripherals easily and intuitively using a graphical user interface (GUI), see the Tiva C Series Pinmux Utility found at www.ti.com/tool/lm4f_pinmux. This easy-to-use interface makes setting up alternate functions for GPIOs simple and error-free.

Table 2-3. J1 Connector⁽¹⁾

J1 Pin	GPIO	Analog Function	On-board Function	Tiva C Series MCU Pin	GPIOCTL Register Setting										
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	14	15
1.01					3.3 V										
1.02	PB5	AIN11	–	57	–	SSI2Fss	–	M0PWM3	–	–	T1CCP1	CAN0Tx	–	–	–
1.03	PB0	USB0ID	–	45	U1Rx	–	–	–	–	–	T2CCP0	–	–	–	–
1.04	PB1	USB0VBUS	–	46	U1Tx	–	–	–	–	–	T2CCP1	–	–	–	–
1.05	PE4	AIN9	–	59	U5Rx	–	I2C2SCL	M0PWM4	M1PWM2	–	–	CAN0Rx	–	–	–
1.06	PE5	AIN8	–	60	U5Tx	–	I2C2SDA	M0PWM5	M1PWM3	–	–	CAN0Tx	–	–	–
1.07	PB4	AIN10	–	58	–	SSI2Clk	–	M0PWM2	–	–	T1CCP0	CAN0Rx	–	–	–
1.08	PA5	–	–	22	–	SSI0Tx	–	–	–	–	–	–	–	–	–
1.09	PA6	–	–	23	–	–	I2C1SCL	–	M1PWM2	–	–	–	–	–	–
1.10	PA7	–	–	24	–	–	I2C1SDA	–	M1PWM3	–	–	–	–	–	–

⁽¹⁾ Shaded cells indicate configuration for compatibility with the MSP430 LaunchPad.

Table 2-4. J2 Connector⁽¹⁾

J2 Pin	GPIO	Analog Function	On-board Function	Tiva C Series MCU Pin	GPIOCTL Register Setting										
		GPIO AMSEL			1	2	3	4	5	6	7	8	9	14	15
2.01					GND										
2.02	PB2	–	–	47	–	–	I2C0SCL	–	–	–	T3CCP0	–	–	–	–
2.03	PE0	AIN3	–	9	U7Rx	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2.04	PF0	–	USR_SW2/WAKE (R1)	28	U1RTS	SSI1Rx	CAN0Rx	–	M1PWM4	PhA0	T0CCP0	NMI	C0o	–	–
2.05					RESET										
2.06	PB7	–	–	4	–	SSI2Tx	–	M0PWM1	–	–	T0CCP1	–	–	–	–
	PD1	AIN6	Connected for MSP430 Compatibility (R10)	62	SSI3Fss	SSI1Fss	I2C3SDA	M0PWM7	M1PWM1	–	WT2CCP1	–	–	–	–
2.07	PB6	–	–	1	–	SSI2Rx	–	M0PWM0	–	–	T0CCP0	–	–	–	–
	PD0	AIN7	Connected for MSP430 Compatibility (R9)	61	SSI3Clk	SSI1Clk	I2C3SCL	M0PWM6	M1PWM0	–	WT2CCP0	–	–	–	–
2.08	PA4	–	–	21	–	SSIORx	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2.09	PA3	–	–	20	–	SSIOFss	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2.10	PA2	–	–	19	–	SSIOClk	–	–	–	–	–	–	–	–	–

⁽¹⁾ Shaded cells indicate configuration for compatibility with the MSP430 LaunchPad.

Table 2-5. J3 Connector⁽¹⁾

J3 Pin	GPIO	Analog Function	On-board Function	Tiva C Series MCU Pin	GPIOCTL Register Setting										
		GPIO AMSEL			1	2	3	4	5	6	7	8	9	14	15
3.01					5.0 V										
3.02					GND										
3.03	PD0	AIN7	–	61	SSI3Clk	SSI1Clk	I2C3SCL	M0PWM6	M1PWM0	–	WT2CCP0	–	–	–	–
	PB6	–	Connected for MSP430 Compatibility (R9)	1	–	SSI2Rx	–	M0PWM0	–	–	T0CCP0	–	–	–	–
3.04	PD1	AIN6	–	92	SSI3Fss	SSI1Fss	I2C3SDA	M0PWM7	M1PWM1	–	WT2CCP1	–	–	–	–
	PB7	–	Connected for MSP430 Compatibility (R10)	4	–	SSI2Tx	–	M0PWM1	–	–	T0CCP1	–	–	–	–
3.05	PD2	AIN5	–	63	SSI3Rx	SSI1Rx	–	M0FAULT0	–	–	WT3CCP0	USB0EPEN	–	–	–
3.06	PD3	AIN4	–	64	SSI3Tx	SSI1Tx	–	–	–	–	WT3CCP1	USB0PFLT	–	–	–
3.07	PE1	AIN2	–	8	U7Tx	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
3.08	PE2	AIN1	–	7	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
3.09	PE3	AIN0	–	6	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
3.10	PF1	–	–	29	U1CTS	SSI1Tx	–	–	M1PWM5	–	T0CCP1	–	C1o	TRD1	–

⁽¹⁾ Shaded cells indicate configuration for compatibility with the MSP430 LaunchPad.

Table 2-6. J4 Connector

J4 Pin	GPIO	Analog Function GPIO AMSEL	On-board Function	Tiva C Series MCU Pin	GPIOCTL Register Setting										
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	14	15
4.01	PF2	–	Blue LED (R11)	30	–	SSI1Clk	–	M0FAULT0	M1PWM6	–	T1CCP0	–	–	–	TRD0
4.02	PF3	–	Green LED (R12)	31	–	SSI1Fss	CAN0Tx	–	M1PWM7	–	T1CCP1	–	–	–	TRCLK
4.03	PB3	–	–	48	–	–	I2C0SDA	–	–	–	T3CCP1	–	–	–	–
4.04	PC4	C1–	–	16	U4Rx	U1Rx	–	M0PWM6	–	IDX1	WT0CCP0	U1RTS	–	–	–
4.05	PC5	C1+	–	15	U4Tx	U1Tx	–	M0PWM7	–	PhA1	WT0CCP1	U1CTS	–	–	–
4.06	PC6	C0+	–	14	U3Rx	–	–	–	–	PhB1	WT1CCP0	USB0EPE N	–	–	–
4.07	PC7	C0–	–	13	U3Tx	–	–	–	–	–	WT1CCP1	USB0PFLT	–	–	–
4.08	PD6	–	–	53	U2Rx	–	–	–	–	PhA0	WT5CCP0	–	–	–	–
4.09	PD7	–	–	10	U2Tx	–	–	–	–	PhB0	WT5CCP1	NMI	–	–	–
4.10	PF4	–	USR_SW 1 (R13)	5	–	–	–	–	M1FAULT0	IDX0	T2CCP0	USB0EPE N	–	–	–

Connectors J1 and J2 of the Tiva C Series TM4C123G LaunchPad BoosterPack XL Interface provide compatibility with MSP430 LaunchPad BoosterPacks. Highlighted functions (shaded cells) in [Table 2-3](#) through [Table 2-5](#) indicate configuration for compatibility with the MSP430 LaunchPad.

A complete list of Tiva C Series BoosterPacks and Tiva C Series LaunchPad-compatible MSP430 BoosterPacks is available at www.ti.com/tm4c123g-launchpad.

2.2 Power Management

2.2.1 Power Supplies

The Tiva C Series LaunchPad can be powered from one of two power sources:

- On-board ICDI USB cable (Debug, Default)
- USB device cable (Device)

The POWER SELECT switch (SW3) is used to select one of the two power sources. Select only one source at a time.

2.2.2 Hibernate

The Tiva C Series LaunchPad provides an external 32.768-kHz crystal (Y1) as the clock source for the TM4C123GH6PM Hibernation module clock source. The current draw while in Hibernate mode can be measured by making some minor adjustments to the Tiva C Series LaunchPad. This procedure is explained in more detail later in this section.

The conditions that can generate a wake signal to the Hibernate module on the Tiva C Series LaunchPad are waking on a Real-time Clock (RTC) match and/or waking on assertion of the \overline{WAKE} pin. ⁽¹⁾ The second user switch (SW2) is connected to the \overline{WAKE} pin on the microcontroller. The \overline{WAKE} pin, as well as the V_{DD} and \overline{HIB} pins, are easily accessible through breakout pads on the Tiva C Series LaunchPad. See the appended schematics for details.

⁽¹⁾ If the board does not turn on when you connect it to a power source, the microcontroller might be in Hibernate mode (depending on the programmed application). You must satisfy one of the programmed wake conditions and connect the power to bring the microcontroller out of Hibernate mode and turn on the board.

There is no external battery source on the Tiva C Series LaunchPad Hibernation module, which means the VDD3ON power control mechanism should be used. This mechanism uses internal switches to remove power from the Cortex-M4 processor as well as to most analog and digital functions while retaining I/O pin power.

To measure the Hibernation mode current or the Run mode current, the VDD jumper that connects the 3.3 V pin and the MCU_PWR pin must be removed. See the complete schematics (appended to this document) for details on these pins and component locations. An ammeter should then be placed between the 3.3 V pin and the MCU_PWR pin to measure I_{DD} (or I_{HIB_VDD3ON}). The TM4C123GH6PM microcontroller uses V_{DD} as its power source during V_{DD3ON} Hibernation mode, so I_{DD} is the Hibernation mode (VDD3ON mode) current. This measurement can also be taken during Run mode, which measures I_{DD} the microcontroller running current.

2.2.3 Clocking

The Tiva C Series LaunchPad uses a 16.0-MHz crystal (Y2) to complete the TM4C123GH6PM microcontroller main internal clock circuit. An internal PLL, configured in software, multiplies this clock to higher frequencies for core and peripheral timing.

The Hibernation module is clocked from an external 32.768-KHz crystal (Y1).

2.2.4 Reset

The $\overline{\text{RESET}}$ signal into the TM4C123GH6PM microcontroller connects to the RESET switch and to the ICDI circuit for a debugger-controlled reset.

External reset is asserted (active low) under any of three conditions:

- Power-on reset (filtered by an R-C network)
- RESET switch held down
- By the ICDI circuit when instructed by the debugger (this capability is optional, and may not be supported by all debuggers)

2.3 In-Circuit Debug Interface (ICDI)

The Tiva C Series LaunchPad evaluation board comes with an on-board In-Circuit Debug Interface (ICDI). The ICDI allows for the programming and debug of the TM4C123GH6PM using the LM Flash Programmer and/or any of the supported tool chains. Note that the ICDI supports only JTAG debugging. An external debug interface can be connected for Serial Wire Debug (SWD) and SWO (trace).

Table 2-7 shows the pins used for JTAG and SWD. These signals are also mapped out to easily accessible breakout pads and headers on the board.

Table 2-7. In-Circuit Debug Interface (ICDI) Signals

GPIO Pin	Pin Function
PC0	TCK/SWCLK
PC1	TMS/SWDIO
PC2	TDI
PC3	TDO/SWO

2.3.1 Virtual COM Port

When plugged in to a PC, the device enumerates as a debugger and a virtual COM port. Table 2-8 shows the connections for the COM port to the pins on the microcontroller.

Table 2-8. Virtual COM Port Signals

GPIO Pin	Pin Function
PA0	U0RX
PA1	U0TX

Software Development

This chapter provides general information on software development as well as instructions for Flash memory programming.

3.1 Software Description

The TivaWare software provided with the Tiva C Series LaunchPad provides access to all of the peripheral devices supplied in the design. The Tiva C Series Peripheral Driver Library is used to operate the on-chip peripherals as part of TivaWare.

TivaWare includes a set of example applications that use the TivaWare Peripheral Driver Library. These applications demonstrate the capabilities of the TM4C123GH6PM microcontroller, as well as provide a starting point for the development of the final application for use on the Tiva C Series LaunchPad evaluation board.

3.2 Source Code

The complete source code including the source code installation instructions are provided at www.ti.com/tm4c123g-launchpad. The source code and binary files are installed in the DriverLib tree.

3.3 Tool Options

The source code installation includes directories containing projects and/or makefiles for the following tool-chains:

- Keil ARM RealView® Microcontroller Development System
- IAR Embedded Workbench for ARM
- Sourcery CodeBench
- Texas Instruments' Code Composer Studio™ IDE

Download evaluation versions of these tools from the TI website. Due to code size restrictions, the evaluation tools may not build all example programs. A full license is necessary to re-build or debug all examples.

Instructions on installing and using each of the evaluation tools can be found in the Quickstart guides (for example, Quickstart-Keil, Quickstart-IAR) which are available for download from the evaluation kit section of the TI website at www.ti.com/tiva-c.

For detailed information on using the tools, see the documentation included in the tool chain installation or visit the respective web site of the tool supplier.

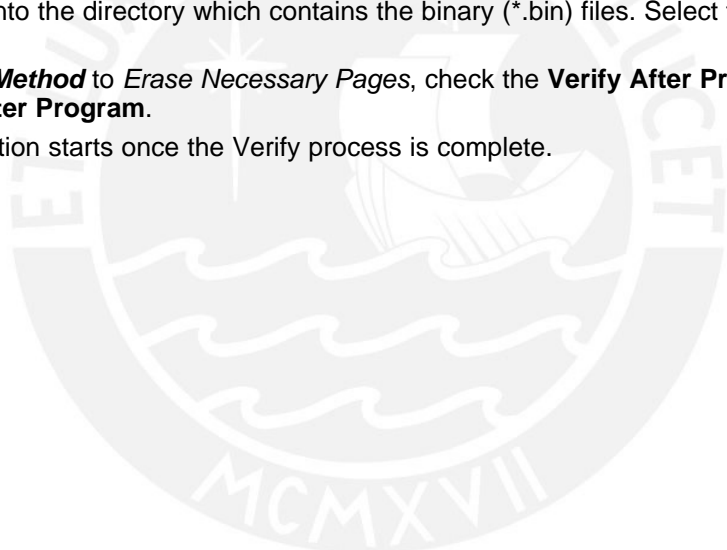
3.4 Programming the Tiva C Series LaunchPad Evaluation Board

The Tiva C Series LaunchPad software package includes pre-built binaries for each of the example applications. If you have installed TivaWare to the default installation path of `C:\ti\TivaWare_C_Series_<version>`, you can find the example applications in `C:\ti\TivaWare_C_Series_<version>\examples\boards\ek-tm4c123gxl`. The on-board ICDI is used with the LM Flash Programmer tool to program applications on the Tiva C Series LaunchPad.

Follow these steps to program example applications into the Tiva C Series LaunchPad evaluation board using the ICDI:

1. Install LM Flash Programmer on a PC running Microsoft® Windows®.
2. Switch the **POWER SELECT** switch to the right for Debug mode.
3. Connect the USB-A cable plug to an available port on the PC and the Micro-B plug to the **Debug USB** port on the board.
4. Verify that the POWER LED D4 on the board is lit.
5. Run the LM Flash Programmer.
6. In the Configuration tab, use the Quick Set control to select the EK-TM4C123GXL evaluation board.
7. Move to the Program tab and click the **Browse** button. Navigate to the example applications directory (the default location is `C:\ti\TivaWare_C_Series_<version>\examples\boards\ek-tm4c123gxl`).
8. Each example application has its own directory. Navigate to the example directory that you want to load and then into the directory which contains the binary (*.bin) files. Select the binary file and click **Open**.
9. Set the **Erase Method** to *Erase Necessary Pages*, check the **Verify After Program** box, and check **Reset MCU After Program**.

Program execution starts once the Verify process is complete.



References, PCB Layout, and Bill of Materials

4.1 References

In addition to this document, the following references are available for download at www.ti.com:

- Tiva C Series TM4C123GH6PM Microcontroller Data Sheet (literature number [SPMS376](#)).
- LM Flash Programmer tool. Available for download at www.ti.com/tool/lmflashprogrammer.
- TivaWare for C Series Driver Library. Available for download at www.ti.com/tool/sw-tm4c-drl.
- TivaWare for C Series Driver Library User's Manual (literature number [SPMU298](#)).
- TPS73633 Low-Dropout Regulator with Reverse Current Protection Data Sheet (literature number [SBVS038](#))
- Texas Instruments' Code Composer Studio IDE website: www.ti.com/ccs

Additional support:

- RealView MDK (www.keil.com/arm/rvmdkkit.asp)
- IAR Embedded Workbench (www.iar.com).
- Sourcery CodeBench development tools (www.codesourcery.com/gnu_toolchains/arm).

4.2 Component Locations

Plots of the top-side component locations are shown in [Figure 4-1](#) and the board dimensions are shown in [Figure 4-2](#).

Figure 4-1. Tiva C Series LaunchPad Component Locations (Top View)

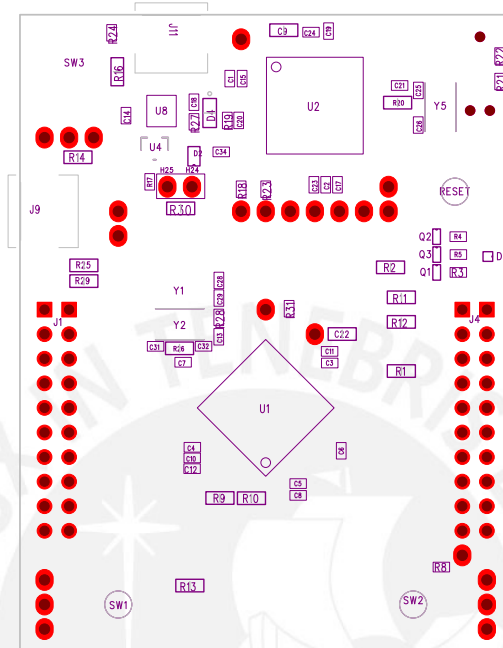
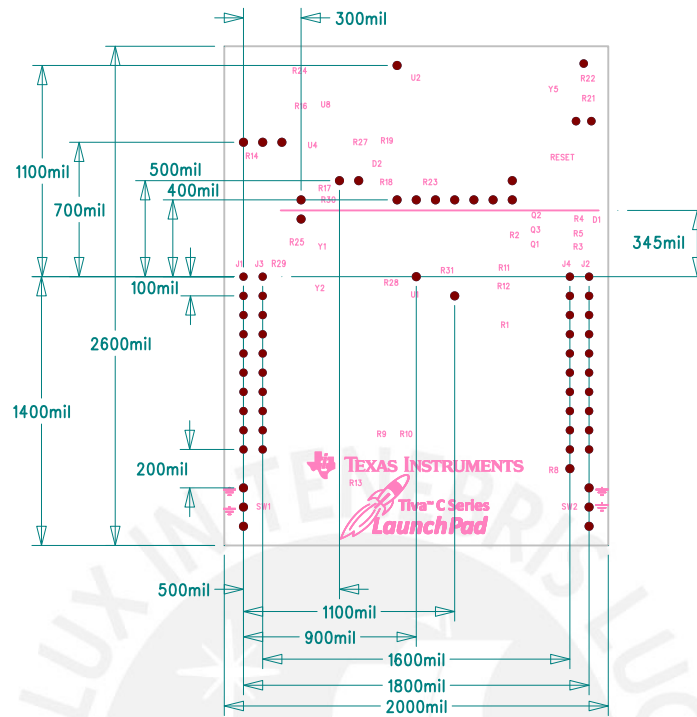


Figure 4-2. Tiva C Series LaunchPad Dimensions



NOTE: Units are in mils (one thousandth of an inch): 1 mil = 0.001 inch (0.0254 mm).

4.3 Bill of Materials (BOM)

Table 4-1 shows the bill of materials for the EK-TM4C123GXL evaluation board.

Table 4-1. EK-TM4C123GXL Bill of Materials

Item	Ref Des	Qty	Description	Manufacturer	Manufacturer Part No
1	C1-2, C7, C12, C14	5	Capacitor, 0402, X5R, 10 V, Low ESR	Johanson Dielectrics Inc	100R07X105KV4T
2	C25-26, C31-32	4	Capacitor, 10 pF, 50 V, 5%, NPO/COG, 0402	Murata	GRM1555C1H100JZ01D
3	C28-29	2	Capacitor, 24 pF, 50 V, 5%, NPO/COG, 0402	TDK	C1005C0G1H240J
4	C3, C5, C8, C15, C18-19, C21	7	Capacitor, 0.01 µF 25 V, 10% 0402 X7R	Taiyo Yuden	TMK105B7103KV-F
5	C4, C6, C10-11, C17, C20, C23-24	8	Capacitor, 0.1 µF 16 V, 10% 0402 X7R	Taiyo Yuden	EMK105B7104KV-F
6	C9, C22	2	Capacitor, 2.2 µF, 16 V, 10%, 0603, X5R	Murata	GRM188R61C225KE15D
7	D1	1	LED, Tri-Color RGB, 0404 SMD Common Anode	Everlight	18-038/RSGHBHC1-S02/2T
8	D4	1	LED, Green 565 nm, Clear 0805 SMD	Lite-On	LTST-C171GKT
9	H24	1	Header, 1x2, 0.100, T-Hole, Vertical Unshrouded, 0.220 Mate	3M FCI	961102-6404-AR 68001-102HLF
10	H25	1	Jumper, 0.100, Gold, Black, Closed	Sullins	SPC02SYAN
11	J1, J3	2	Header, 2x10, T-Hole Vertical unshrouded stacking	Samtec	SSW-110-23-S-D

Table 4-1. EK-TM4C123GXL Bill of Materials (continued)

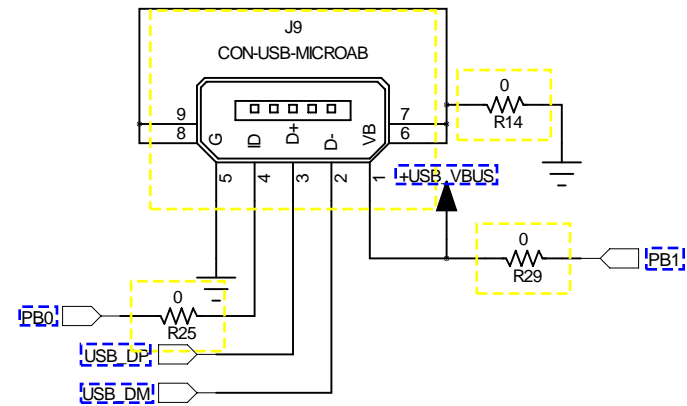
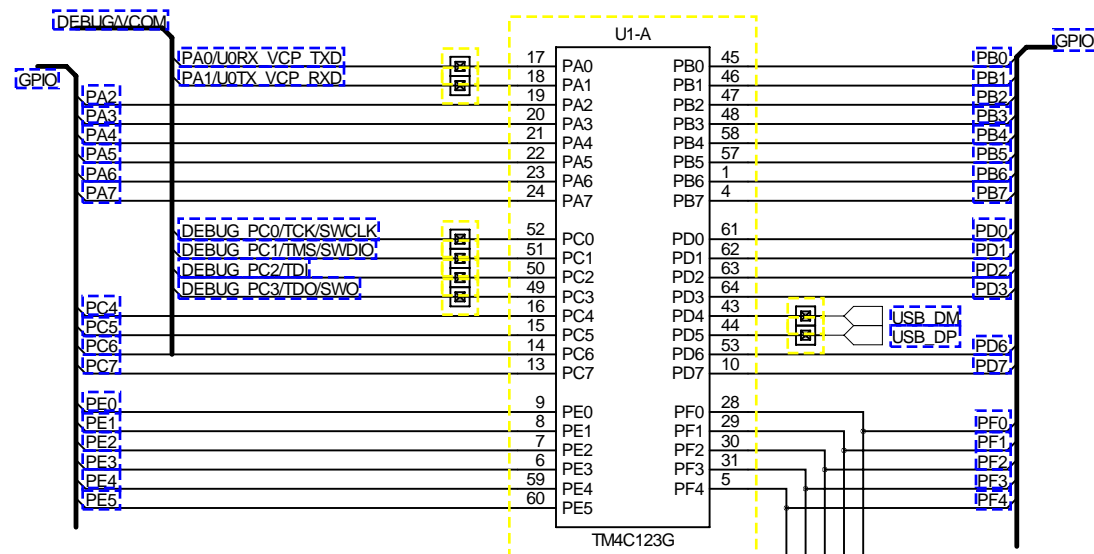
Item	Ref Des	Qty	Description	Manufacturer	Manufacturer Part No
12	J11	1	USB Connector, Micro B Recept RA SMT BTTM MNT	Hirose	ZX62-B-5PA
13	J2, J4	2	Header, 1x2, 0.100, SMT, Horizontal Unshrouded, 0.230 Mate	Samtec	TSM-110-01-S-DH-A-P-TR
				4UCON	10995
				Major League Electronics	TSHSM-110-D-02-T-H-AP- TR-P-LF
14	J9	1	USB Connector, Micro A/B Receptacle SMD	Hirose	ZX62-AB-5PA
15	Q1-3	3	NPN SC70 pre-biased	Diodes Inc	DTC114EET1G
16	R1-2, R9-16, R20, R26	12	Resistor, 0 Ω 1/10W 0603 SMD	Panasonic	ERJ-3GEY0R00V
17	R18-19, R21-23, R28	6	Resistor, 10 k Ω , 1/10W, 5%, 0402 Thick Film	Yageo	RC0402FR-0710KL
18	R3-5, R8, R27	5	Resistor, 330 Ω , 1/10W, 5%, 0402	Yageo	RC0402FR-07330RL
19	R31	1	Resistor, 1 M Ω 1/10W, 5%, 0402	Rohm	MCR01MRTF1004
20	RESET SW1, SW2	3	Switch, Tact 6 mm SMT, 160gf	Omron	B3S-1000
21	SW3	1	Switch, DPDT, SMT 300 mA x 2 at 6 V	C K Components	JS202011SCQN
22	U1, U2	2	Tiva C Series MCU TM4C123GH6PM	Texas Instruments	TM4C123GH6PMI
23	U8	1	Regulator, 3.3 V, 400 mA, LDO	Texas Instruments	TPS73633DRBT
24	Y1	1	Crystal, 32.768 kHz Radial Can	Abracon	AB26TRB-32.768KHZ- T
25	Y2, Y5	2	Crystal, 16.00 MHz 5.0x3.2mm SMT	NDK	NX5032GA-16.000000 MHz
				Abracon	ABM3-16.000 MHz-B2- T
PCB Do Not Populate List (Shown for information only)					
26	C31, C34	2	Capacitor, 0.1 μ F 16 V, 10% 0402 X7R	Taiyo Yuden	EMK105B7104KV-F
27	D2	1	Diode, Dual Schottky, SC70, BAS70 Common Cathode	Diodes Inc	BAS70W-05-7-F
28	R17	1	Resistor, 10 k Ω 1/10W 5%, 0402 Thick Film	Yageo	RC0402FR-0710KL
29	R24	1	Resistor, 330 Ω , 1/10W, 5%, 0402	Yageo	RC0402FR-07330RL
30	R25, R29-30	3	Resistor, 0 Ω , 1/10W 0603	Panasonic	ERJ-3GEY0R00V
31	U4	1	IC, Single Voltage Supervisor, 5V, DBV	Texas Instruments	TLV803MDBZR

Schematics

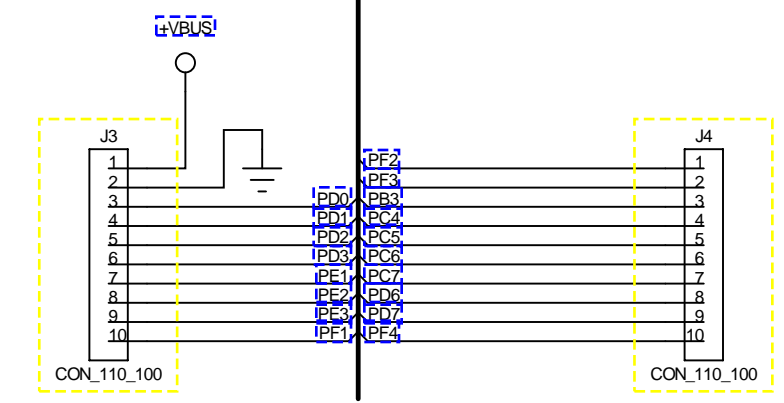
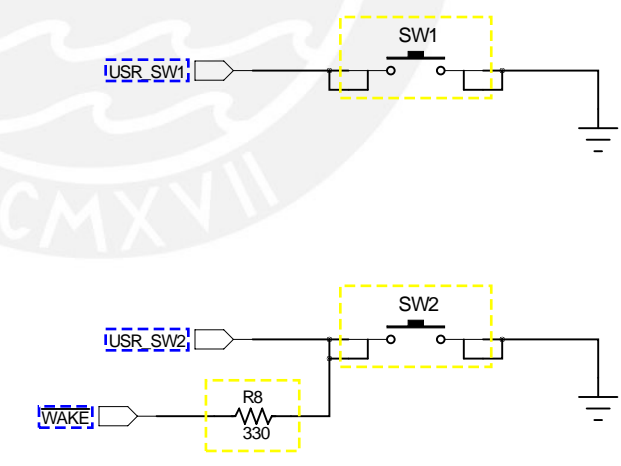
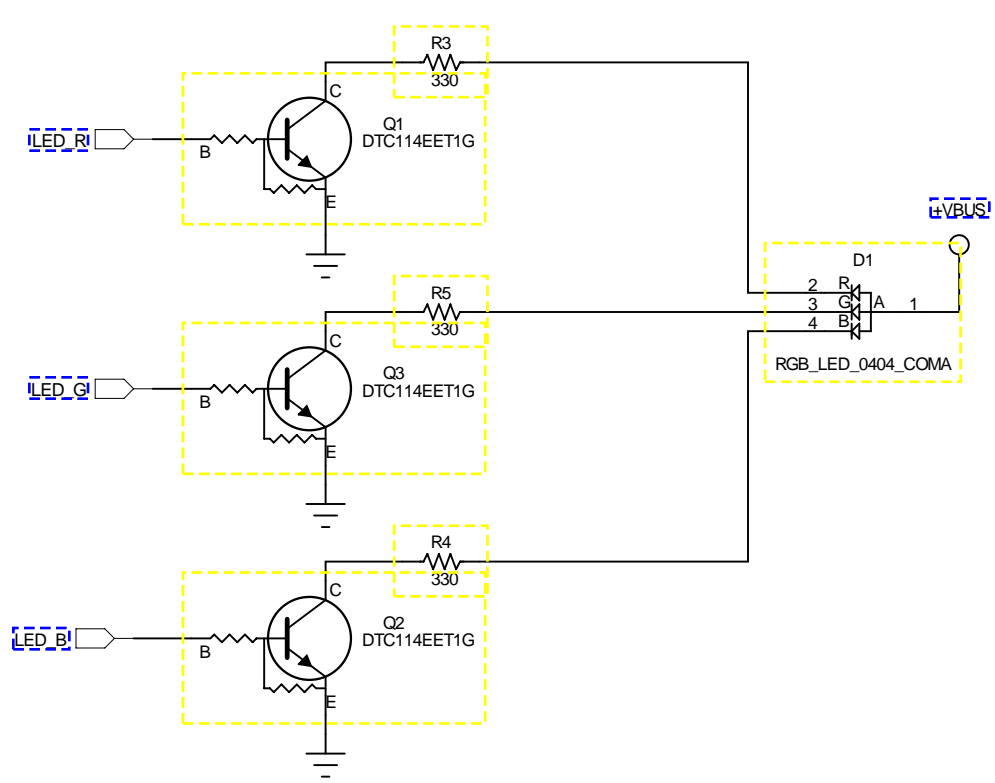
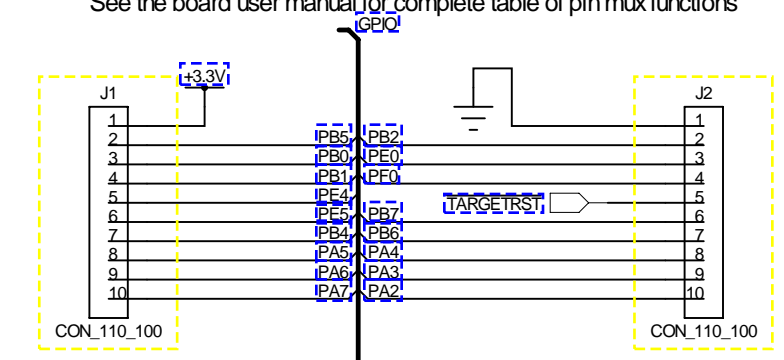
This section contains the complete schematics for the Tiva C Series LaunchPad board.

- Microcontroller, USB, Expansion, Buttons, and LED
- Power Management
- In-Circuit Debug Interface





J1 and J2 provide compatibility with Booster Packs designed for MSP430 Launchpad
 J3 and J4 sit 100 mils inside J1 and J2 to provide extended functions specific to this board.
 See the board user manual for complete table of pin mux functions



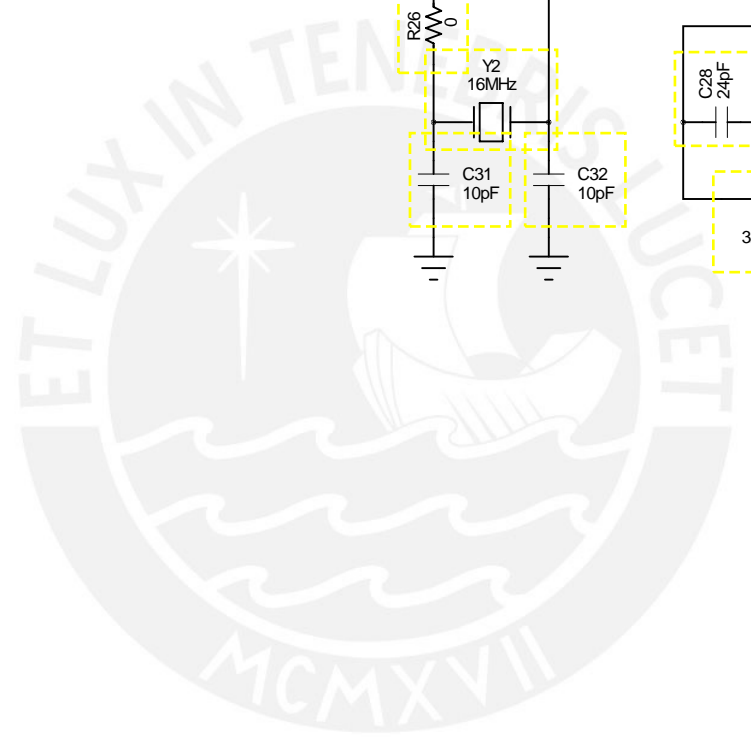
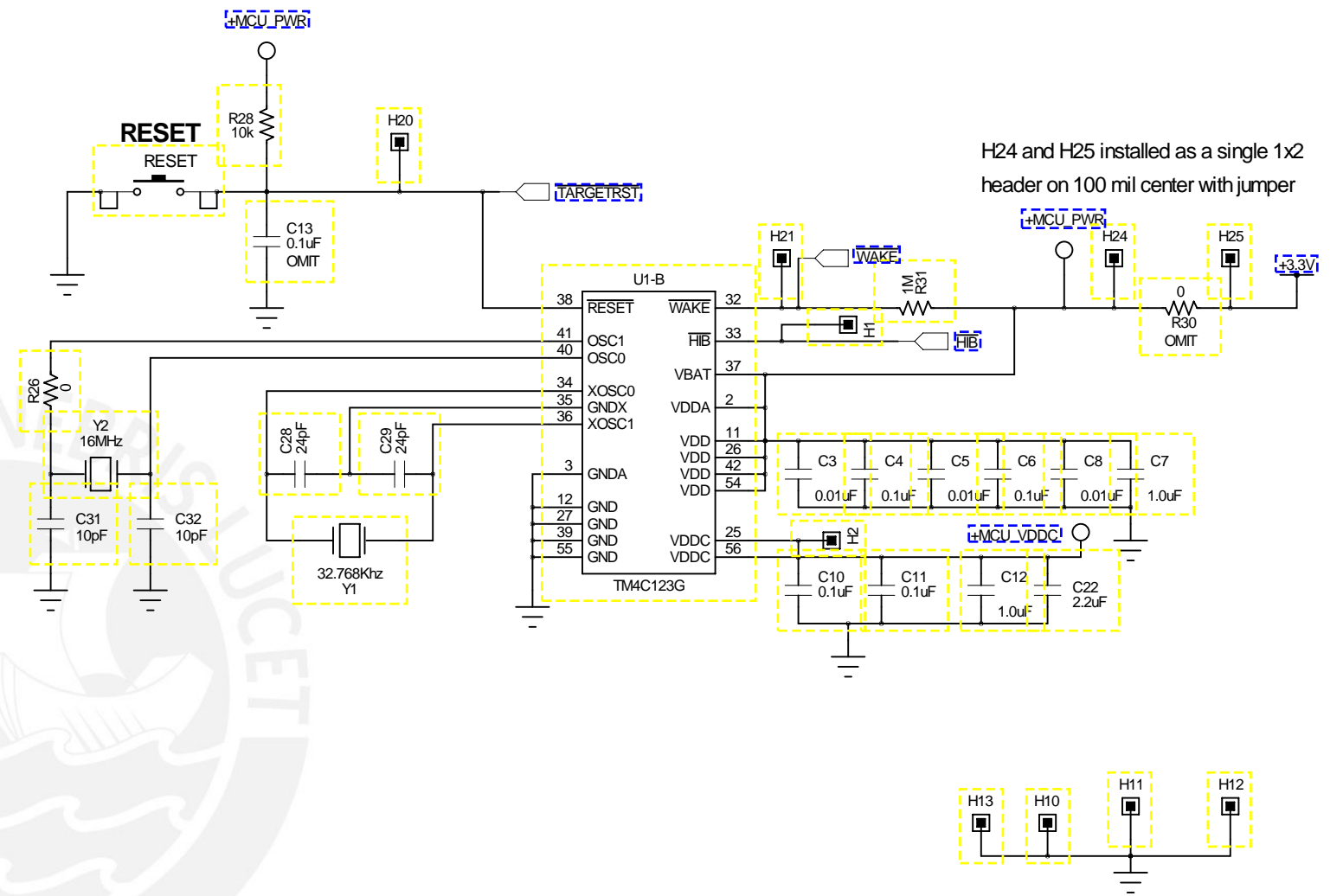
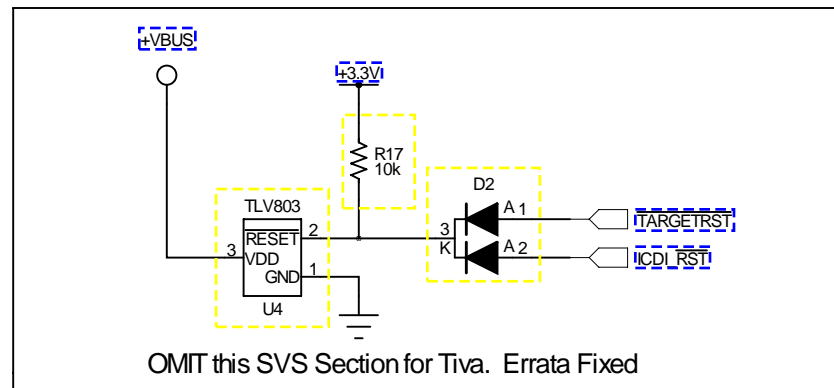
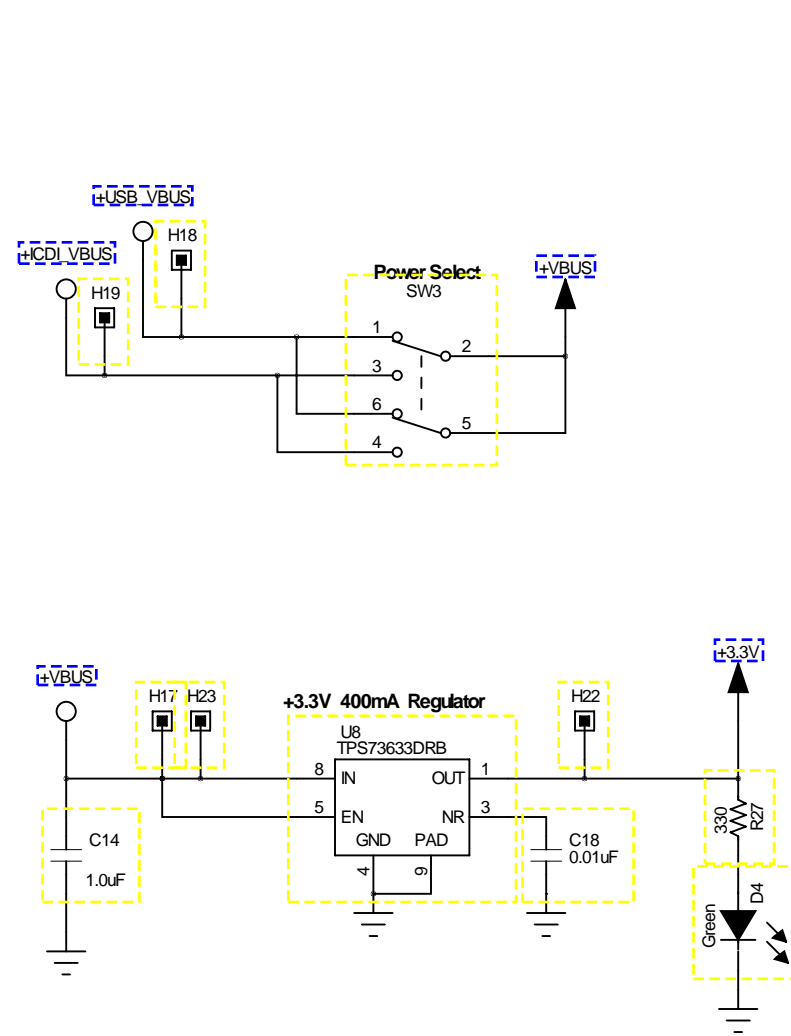
DESIGNER DGT	REVISION 0.3	DATE 2/20/2013
PROJECT Tiva TM4C123G LaunchPad		
DESCRIPTION Microcontroller, USB, Expansion, Buttons and LED		
FILENAME EK-TM4C123GXL Rev A.sch		


TEXAS INSTRUMENTS

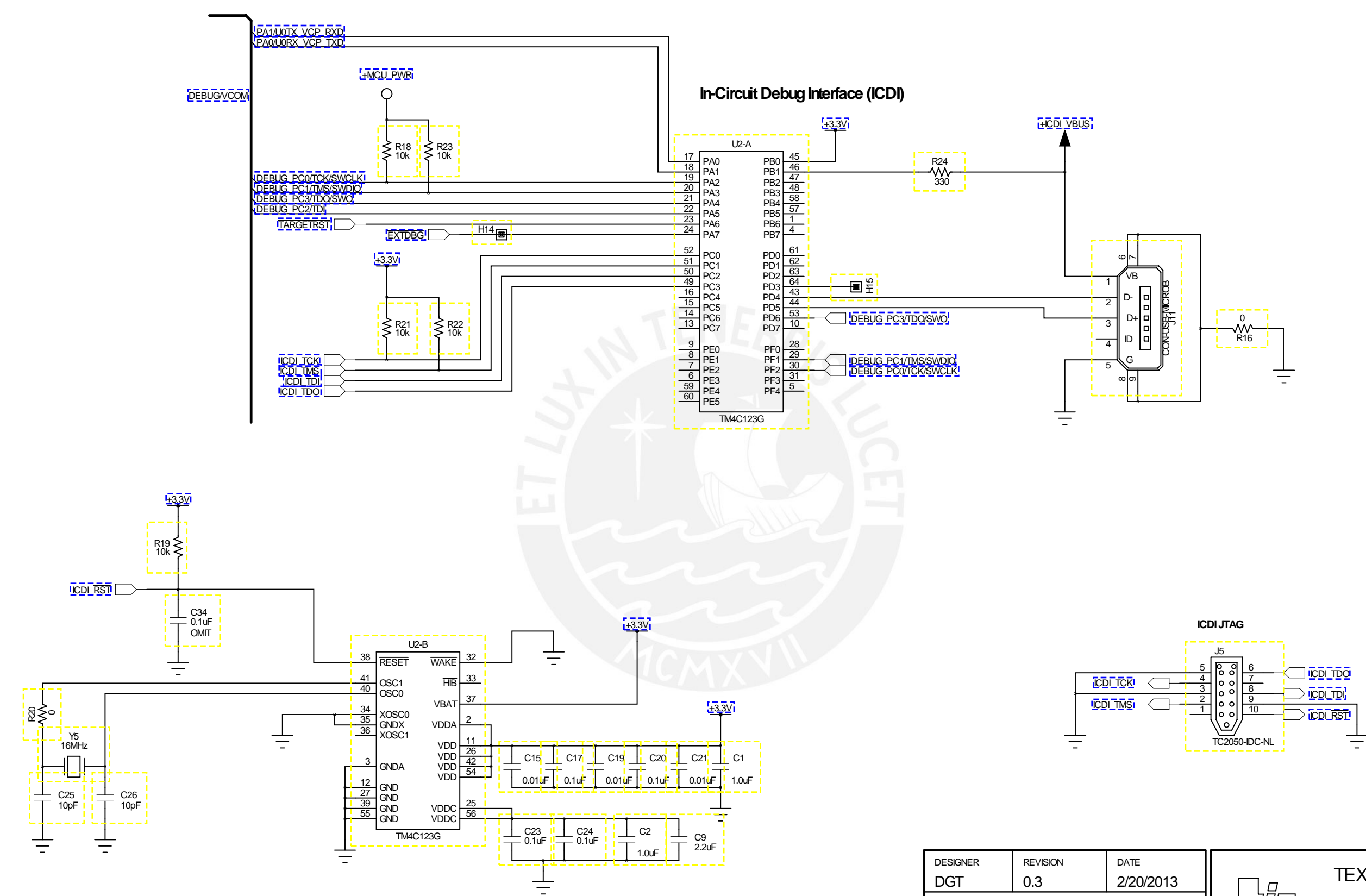
TIVA MICROCONTROLLERS

108 WILD BASIN ROAD, SUITE 350
 AUSTIN TX, 78746
 www.ti.com

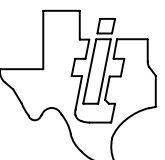
PART NO. EK-TM4C123GXL SHEET 1 OF 3



DESIGNER DGT	REVISION 0.3	DATE 2/20/2013	 TEXAS INSTRUMENTS TIVA MICROCONTROLLERS 108 WILD BASIN ROAD, SUITE 350 AUSTIN TX, 78746 www.ti.com
PROJECT Tiva Launchpad			
DESCRIPTION Power Management			
FILENAME EK-TM4C123GXL Rev A.sch	PART NO. EK-TM4C123GXL	SHEET 2 OF 3	



DESIGNER DGT	REVISION 0.3	DATE 2/20/2013
PROJECT Tiva TM4C123G LaunchPad		
DESCRIPTION In Circuit Debug Interface		
FILENAME EK-TM4C123GXL Rev A.sch		

	TEXAS INSTRUMENTS TIVA MICROCONTROLLERS 108 WILD BASIN ROAD, SUITE 350 AUSTIN TX, 78746 www.ti.com	
	PART NO. EK-TM4C123GXL	SHEET 3 OF 3

EVALUATION BOARD/KIT/MODULE (EVM) ADDITIONAL TERMS

Texas Instruments (TI) provides the enclosed Evaluation Board/Kit/Module (EVM) under the following conditions:

The user assumes all responsibility and liability for proper and safe handling of the goods. Further, the user indemnifies TI from all claims arising from the handling or use of the goods.

Should this evaluation board/kit not meet the specifications indicated in the User's Guide, the board/kit may be returned within 30 days from the date of delivery for a full refund. THE FOREGOING LIMITED WARRANTY IS THE EXCLUSIVE WARRANTY MADE BY SELLER TO BUYER AND IS IN LIEU OF ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESSED, IMPLIED, OR STATUTORY, INCLUDING ANY WARRANTY OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR ANY PARTICULAR PURPOSE. EXCEPT TO THE EXTENT OF THE INDEMNITY SET FORTH ABOVE, NEITHER PARTY SHALL BE LIABLE TO THE OTHER FOR ANY INDIRECT, SPECIAL, INCIDENTAL, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES.

Please read the User's Guide and, specifically, the Warnings and Restrictions notice in the User's Guide prior to handling the product. This notice contains important safety information about temperatures and voltages. For additional information on TI's environmental and/or safety programs, please visit www.ti.com/esh or contact TI.

No license is granted under any patent right or other intellectual property right of TI covering or relating to any machine, process, or combination in which such TI products or services might be or are used. TI currently deals with a variety of customers for products, and therefore our arrangement with the user is not exclusive. TI assumes no liability for applications assistance, customer product design, software performance, or infringement of patents or services described herein.

REGULATORY COMPLIANCE INFORMATION

As noted in the EVM User's Guide and/or EVM itself, this EVM and/or accompanying hardware may or may not be subject to the Federal Communications Commission (FCC) and Industry Canada (IC) rules.

For EVMs **not** subject to the above rules, this evaluation board/kit/module is intended for use for ENGINEERING DEVELOPMENT, DEMONSTRATION OR EVALUATION PURPOSES ONLY and is not considered by TI to be a finished end product fit for general consumer use. It generates, uses, and can radiate radio frequency energy and has not been tested for compliance with the limits of computing devices pursuant to part 15 of FCC or ICES-003 rules, which are designed to provide reasonable protection against radio frequency interference. Operation of the equipment may cause interference with radio communications, in which case the user at his own expense will be required to take whatever measures may be required to correct this interference.

General Statement for EVMs including a radio

User Power/Frequency Use Obligations: This radio is intended for development/professional use only in legally allocated frequency and power limits. Any use of radio frequencies and/or power availability of this EVM and its development application(s) must comply with local laws governing radio spectrum allocation and power limits for this evaluation module. It is the user's sole responsibility to only operate this radio in legally acceptable frequency space and within legally mandated power limitations. Any exceptions to this are strictly prohibited and unauthorized by Texas Instruments unless user has obtained appropriate experimental/development licenses from local regulatory authorities, which is responsibility of user including its acceptable authorization.

For EVMs annotated as FCC – FEDERAL COMMUNICATIONS COMMISSION Part 15 Compliant

Caution

This device complies with part 15 of the FCC Rules. Operation is subject to the following two conditions: (1) This device may not cause harmful interference, and (2) this device must accept any interference received, including interference that may cause undesired operation.

Changes or modifications not expressly approved by the party responsible for compliance could void the user's authority to operate the equipment.

FCC Interference Statement for Class A EVM devices

This equipment has been tested and found to comply with the limits for a Class A digital device, pursuant to part 15 of the FCC Rules. These limits are designed to provide reasonable protection against harmful interference when the equipment is operated in a commercial environment. This equipment generates, uses, and can radiate radio frequency energy and, if not installed and used in accordance with the instruction manual, may cause harmful interference to radio communications. Operation of this equipment in a residential area is likely to cause harmful interference in which case the user will be required to correct the interference at his own expense.

FCC Interference Statement for Class B EVM devices

This equipment has been tested and found to comply with the limits for a Class B digital device, pursuant to part 15 of the FCC Rules. These limits are designed to provide reasonable protection against harmful interference in a residential installation. This equipment generates, uses and can radiate radio frequency energy and, if not installed and used in accordance with the instructions, may cause harmful interference to radio communications. However, there is no guarantee that interference will not occur in a particular installation. If this equipment does cause harmful interference to radio or television reception, which can be determined by turning the equipment off and on, the user is encouraged to try to correct the interference by one or more of the following measures:

- Reorient or relocate the receiving antenna.
- Increase the separation between the equipment and receiver.
- Connect the equipment into an outlet on a circuit different from that to which the receiver is connected.
- Consult the dealer or an experienced radio/TV technician for help.

For EVMs annotated as IC – INDUSTRY CANADA Compliant

This Class A or B digital apparatus complies with Canadian ICES-003.

Changes or modifications not expressly approved by the party responsible for compliance could void the user's authority to operate the equipment.

Concerning EVMs including radio transmitters

This device complies with Industry Canada licence-exempt RSS standard(s). Operation is subject to the following two conditions: (1) this device may not cause interference, and (2) this device must accept any interference, including interference that may cause undesired operation of the device.

Concerning EVMs including detachable antennas

Under Industry Canada regulations, this radio transmitter may only operate using an antenna of a type and maximum (or lesser) gain approved for the transmitter by Industry Canada. To reduce potential radio interference to other users, the antenna type and its gain should be so chosen that the equivalent isotropically radiated power (e.i.r.p.) is not more than that necessary for successful communication.

This radio transmitter has been approved by Industry Canada to operate with the antenna types listed in the user guide with the maximum permissible gain and required antenna impedance for each antenna type indicated. Antenna types not included in this list, having a gain greater than the maximum gain indicated for that type, are strictly prohibited for use with this device.

Cet appareil numérique de la classe A ou B est conforme à la norme NMB-003 du Canada.

Les changements ou les modifications pas expressément approuvés par la partie responsable de la conformité ont pu vider l'autorité de l'utilisateur pour actionner l'équipement.

Concernant les EVMs avec appareils radio

Le présent appareil est conforme aux CNR d'Industrie Canada applicables aux appareils radio exempts de licence. L'exploitation est autorisée aux deux conditions suivantes : (1) l'appareil ne doit pas produire de brouillage, et (2) l'utilisateur de l'appareil doit accepter tout brouillage radioélectrique subi, même si le brouillage est susceptible d'en compromettre le fonctionnement.

Concernant les EVMs avec antennes détachables

Conformément à la réglementation d'Industrie Canada, le présent émetteur radio peut fonctionner avec une antenne d'un type et d'un gain maximal (ou inférieur) approuvé pour l'émetteur par Industrie Canada. Dans le but de réduire les risques de brouillage radioélectrique à l'intention des autres utilisateurs, il faut choisir le type d'antenne et son gain de sorte que la puissance isotrope rayonnée équivalente (p.i.r.e.) ne dépasse pas l'intensité nécessaire à l'établissement d'une communication satisfaisante.

Le présent émetteur radio a été approuvé par Industrie Canada pour fonctionner avec les types d'antenne énumérés dans le manuel d'usage et ayant un gain admissible maximal et l'impédance requise pour chaque type d'antenne. Les types d'antenne non inclus dans cette liste, ou dont le gain est supérieur au gain maximal indiqué, sont strictement interdits pour l'exploitation de l'émetteur.

【Important Notice for Users of this Product in Japan】

This development kit is NOT certified as Confirming to Technical Regulations of Radio Law of Japan

If you use this product in Japan, you are required by Radio Law of Japan to follow the instructions below with respect to this product:

1. Use this product in a shielded room or any other test facility as defined in the notification #173 issued by Ministry of Internal Affairs and Communications on March 28, 2006, based on Sub-section 1.1 of Article 6 of the Ministry's Rule for Enforcement of Radio Law of Japan,
2. Use this product only after you obtained the license of Test Radio Station as provided in Radio Law of Japan with respect to this product, or
3. Use of this product only after you obtained the Technical Regulations Conformity Certification as provided in Radio Law of Japan with respect to this product. Also, please do not transfer this product, unless you give the same notice above to the transferee. Please note that if you could not follow the instructions above, you will be subject to penalties of Radio Law of Japan.

Texas Instruments Japan Limited
(address) 24-1, Nishi-Shinjuku 6 chome, Shinjuku-ku, Tokyo, Japan

<http://www.tij.co.jp>

【ご使用にあたっての注】

本開発キットは技術基準適合証明を受けておりません。

本製品のご使用に際しては、電波法遵守のため、以下のいずれかの措置を取っていただく必要がありますのでご注意ください。

1. 電波法施行規則第6条第1項第1号に基づく平成18年3月28日総務省告示第173号で定められた電波暗室等の試験設備でご使用いただく。
2. 実験局の免許を取得後ご使用いただく。
3. 技術基準適合証明を取得後ご使用いただく。

なお、本製品は、上記の「ご使用にあたっての注意」を譲渡先、移転先に通知しない限り、譲渡、移転できないものとします。

上記を遵守頂けない場合は、電波法の罰則が適用される可能性があることをご留意ください。

日本テキサス・インスツルメンツ株式会社
東京都新宿区西新宿6丁目24番1号
西新宿三井ビル

<http://www.tij.co.jp>

EVALUATION BOARD/KIT/MODULE (EVM) WARNINGS, RESTRICTIONS AND DISCLAIMERS

For Feasibility Evaluation Only, in Laboratory/Development Environments. Unless otherwise indicated, this EVM is not a finished electrical equipment and not intended for consumer use. It is intended solely for use for preliminary feasibility evaluation in laboratory/development environments by technically qualified electronics experts who are familiar with the dangers and application risks associated with handling electrical mechanical components, systems and subsystems. It should not be used as all or part of a finished end product.

Your Sole Responsibility and Risk. You acknowledge, represent and agree that:

1. You have unique knowledge concerning Federal, State and local regulatory requirements (including but not limited to Food and Drug Administration regulations, if applicable) which relate to your products and which relate to your use (and/or that of your employees, affiliates, contractors or designees) of the EVM for evaluation, testing and other purposes.
2. You have full and exclusive responsibility to assure the safety and compliance of your products with all such laws and other applicable regulatory requirements, and also to assure the safety of any activities to be conducted by you and/or your employees, affiliates, contractors or designees, using the EVM. Further, you are responsible to assure that any interfaces (electronic and/or mechanical) between the EVM and any human body are designed with suitable isolation and means to safely limit accessible leakage currents to minimize the risk of electrical shock hazard.
3. You will employ reasonable safeguards to ensure that your use of the EVM will not result in any property damage, injury or death, even if the EVM should fail to perform as described or expected.
4. You will take care of proper disposal and recycling of the EVM's electronic components and packing materials.

Certain Instructions. It is important to operate this EVM within TI's recommended specifications and environmental considerations per the user guidelines. Exceeding the specified EVM ratings (including but not limited to input and output voltage, current, power, and environmental ranges) may cause property damage, personal injury or death. If there are questions concerning these ratings please contact a TI field representative prior to connecting interface electronics including input power and intended loads. Any loads applied outside of the specified output range may result in unintended and/or inaccurate operation and/or possible permanent damage to the EVM and/or interface electronics. Please consult the EVM User's Guide prior to connecting any load to the EVM output. If there is uncertainty as to the load specification, please contact a TI field representative. During normal operation, some circuit components may have case temperatures greater than 60°C as long as the input and output are maintained at a normal ambient operating temperature. These components include but are not limited to linear regulators, switching transistors, pass transistors, and current sense resistors which can be identified using the EVM schematic located in the EVM User's Guide. When placing measurement probes near these devices during normal operation, please be aware that these devices may be very warm to the touch. As with all electronic evaluation tools, only qualified personnel knowledgeable in electronic measurement and diagnostics normally found in development environments should use these EVMs.

Agreement to Defend, Indemnify and Hold Harmless. You agree to defend, indemnify and hold TI, its licensors and their representatives harmless from and against any and all claims, damages, losses, expenses, costs and liabilities (collectively, "Claims") arising out of or in connection with any use of the EVM that is not in accordance with the terms of the agreement. This obligation shall apply whether Claims arise under law of tort or contract or any other legal theory, and even if the EVM fails to perform as described or expected.

Safety-Critical or Life-Critical Applications. If you intend to evaluate the components for possible use in safety critical applications (such as life support) where a failure of the TI product would reasonably be expected to cause severe personal injury or death, such as devices which are classified as FDA Class III or similar classification, then you must specifically notify TI of such intent and enter into a separate Assurance and Indemnity Agreement.

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2013, Texas Instruments Incorporated

IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, enhancements, improvements and other changes to its semiconductor products and services per JESD46, latest issue, and to discontinue any product or service per JESD48, latest issue. Buyers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All semiconductor products (also referred to herein as "components") are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

TI warrants performance of its components to the specifications applicable at the time of sale, in accordance with the warranty in TI's terms and conditions of sale of semiconductor products. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary to support this warranty. Except where mandated by applicable law, testing of all parameters of each component is not necessarily performed.

TI assumes no liability for applications assistance or the design of Buyers' products. Buyers are responsible for their products and applications using TI components. To minimize the risks associated with Buyers' products and applications, Buyers should provide adequate design and operating safeguards.

TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any patent right, copyright, mask work right, or other intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI components or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

Reproduction of significant portions of TI information in TI data books or data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. TI is not responsible or liable for such altered documentation. Information of third parties may be subject to additional restrictions.

Resale of TI components or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that component or service voids all express and any implied warranties for the associated TI component or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

Buyer acknowledges and agrees that it is solely responsible for compliance with all legal, regulatory and safety-related requirements concerning its products, and any use of TI components in its applications, notwithstanding any applications-related information or support that may be provided by TI. Buyer represents and agrees that it has all the necessary expertise to create and implement safeguards which anticipate dangerous consequences of failures, monitor failures and their consequences, lessen the likelihood of failures that might cause harm and take appropriate remedial actions. Buyer will fully indemnify TI and its representatives against any damages arising out of the use of any TI components in safety-critical applications.

In some cases, TI components may be promoted specifically to facilitate safety-related applications. With such components, TI's goal is to help enable customers to design and create their own end-product solutions that meet applicable functional safety standards and requirements. Nonetheless, such components are subject to these terms.

No TI components are authorized for use in FDA Class III (or similar life-critical medical equipment) unless authorized officers of the parties have executed a special agreement specifically governing such use.

Only those TI components which TI has specifically designated as military grade or "enhanced plastic" are designed and intended for use in military/aerospace applications or environments. Buyer acknowledges and agrees that any military or aerospace use of TI components which have **not** been so designated is solely at the Buyer's risk, and that Buyer is solely responsible for compliance with all legal and regulatory requirements in connection with such use.

TI has specifically designated certain components as meeting ISO/TS16949 requirements, mainly for automotive use. In any case of use of non-designated products, TI will not be responsible for any failure to meet ISO/TS16949.

Products

Audio	www.ti.com/audio
Amplifiers	amplifier.ti.com
Data Converters	dataconverter.ti.com
DLP® Products	www.dlp.com
DSP	dsp.ti.com
Clocks and Timers	www.ti.com/clocks
Interface	interface.ti.com
Logic	logic.ti.com
Power Mgmt	power.ti.com
Microcontrollers	microcontroller.ti.com
RFID	www.ti-rfid.com
OMAP Applications Processors	www.ti.com/omap
Wireless Connectivity	www.ti.com/wirelessconnectivity

Applications

Automotive and Transportation	www.ti.com/automotive
Communications and Telecom	www.ti.com/communications
Computers and Peripherals	www.ti.com/computers
Consumer Electronics	www.ti.com/consumer-apps
Energy and Lighting	www.ti.com/energy
Industrial	www.ti.com/industrial
Medical	www.ti.com/medical
Security	www.ti.com/security
Space, Avionics and Defense	www.ti.com/space-avionics-defense
Video and Imaging	www.ti.com/video

TI E2E Community

e2e.ti.com



Irestal Group



TABLA DE CARACTERISTICAS

TÉCNICAS DEL ACERO INOXIDABLE

TABLA DE CORRESPONDENCIA

APROXIMADA DE CALIDADES DEL ACERO INOXIDABLE ENTRE NORMAS

TABLA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ACERO INOXIDABLE

SERIE 300 -

Acero al Cromo Níquel

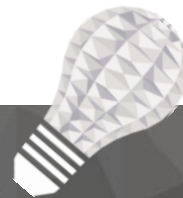
DESIGNACIÓN	TIPO ASTM (AISI)	301	302	303	304	304 L	321	
	COMPOSICIÓN QUÍMICA	C% 0,15 Máx. Mn% 2,00 Máx. Si% 1,00 Máx. Cr% 16,0018,00 Ni% 6,008,00	C% 0,15 Máx. Mn% 2,00 Máx. Si% 1,00 Máx. Cr% 17,0019,00 Ni% 8,0010,00	C% 0,15 Máx. Mn% 2,00 Máx. Si% 1,00 Máx. Cr% 17,0019,00 Ni% 8,0010,00 S% 0,15 Mín,	C% 0,08 Máx. Mn% 2,00 Máx. Si% 1,00 Máx. Cr% 18,0020,00 Ni% 8,0010,50	C% 0,030 Máx. Mn% 2,00 Máx. Si% 1,00 Máx. Cr% 18,0020,00 Ni% 8,0012,00	C% 0,08 Máx. Mn% 2,00 Máx. Si% 1,00 Máx. Cr% 17,0019,00 Ni% 9,0012,00 Ti%>5xC%0,07	
PROPIEDADES FÍSICAS	PESO ESPECÍFICO (g/cm ³)	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	
	MÓDULO DE ELASTICIDAD (N/mm ²)	193.000	193.000	193.000	193.000	193.000	193.000	
	ESTRUCTURA	AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	
	CALOR ESPECÍFICO A 20C (J/Kg K)	500	500	500	500	500	500	
	CONDUCTIBILIDAD TÉRMICA (W/m K)	a 100 C a 150 C	16 21	16 21	16 21	16 21	16 21	16 21,5
	COEFICIENTE DE DILATACIÓN TÉRMICO MEDIO (x 10 ⁶ C ⁻¹)	0100 C 0300 C 0500 C 0700 C	16,92 17,10 18,18 18,72	17,28 17,82 18,36 18,72	17,3 17,8 18,4 18,7	17,30 17,80 18,40 18,80	17,30 17,80 18,40 18,80	16,74 17,10 18,54 19,26
	INTERVALO DE FUSIÓN (C)	13981420	13981420	13981420	13981454	13981454	13981427	
PROPIEDADES ELÉCTRICAS	PERMEABILIDAD TÉRMICA EN ESTADO SOLUBLE RECOCIDO	AMAGNÉTICO 1,02	AMAGNÉTICO 1,008	AMAGNÉTICO 1,008	AMAGNÉTICO 1,008	AMAGNÉTICO 1,008	AMAGNÉTICO 1,008	
	CAPACIDAD DE RESISTENCIA ELÉCTRICA A 20C (μΩm)	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	
PROPIEDADES MECÁNICAS A 20º	DUREZA BRINELL RECOCIDO HB CON DEFORMACIÓN EN FRÍO HB	135185 210330	135185 180330	130180 180330	130150 180330	125145 -	130185 -	
	DUREZA ROCKWELL RECOCIDO HRB CON DEFORMACIÓN EN FRÍO HRC	7592 2541 1/4 DURO-DURO	7090 1035	7090 -	7088 1035	7085 -	7088 -	
	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN CON DEFORMACIÓN EN FRÍO Rm(N/mm ²)	RECOCIDO 590750 8701200 1/4 DURO-DURO	560720 6801180	530700 -	500700 7001180	500680 -	520700 -	
	ELASTICIDAD CON DEFORMACIÓN EN FRÍO Rp (0,2)(N/mm ²)	RECOCIDO 215340 500900 1/4 DURO-DURO	205340 340900	205340 350900	195340 340900	175300 -	205340 -	
	RECOCIDO Rp(1) (N/mm ²) MÍNIMO	225	245	255	235	215	245	
	ALARGAMIENTO 50mm. A(%)	6555 258 1/4 DURO-DURO	6050 5010	6050 -	6550 5010	6550 -	6040 -	
	ESTRICCION RECOCIDO Z (%)	7060	7555	Min. 50	7560	7560	6550	
	RESILENCIA KCVL (J/cm ²) KVL (J/cm ²)	130 140	160 180	Mín. 100 -	160 180	160 180	120 130	
PROPIEDADES MECÁNICAS EN CALIENTE	ELASTICIDAD DIFERENTES TEMPERATURAS	a 300 C a 400 C a 500 C Rp(0,2) (N/mm ²) a 300 C a 400 C a 500 C Rp(1) (N/mm ²)	- - - - - - -	- - - - - - -	125 97 93 147 127 107	115 98 88 137 117 108	150 135 120 186 161 152	
	LÍMITE DE FLUENCIA	a 500 C a 600 C a 700 C σ1 / 100.000/ t (N/mm ²) a 800 C	- - - -	- - - -	68 42 14,5 4,9	58,5 36 10,5 3,9	102 64 16,5 5,8	
	TRATAMIENTOS TÉRMICOS	RECOCIDO COMPLETO RECOCIDO INDUSTRIAL (OC) (I)	ENFR. RÁPIDO 10081120	ENFR. RÁPIDO 10081120	ENFR. RÁPIDO 10081120	ENFR. RÁPIDO 10081120	ENFR. RÁPIDO 10081120	ENFR. RÁPIDO 9531120
	TEMPLE	NO COGE TEMPLE	NO COGE TEMPLE	NO COGE TEMPLE	NO COGE TEMPLE	NO COGE TEMPLE	NO COGE TEMPLE	
	INTERVALO DE FORJA TEMPER. INICIAL TEMPER. FINAL	1200 925	1200 925	1200 925	1200 925	1200 925	1175 925	
	TEMPERATURA FORMACIÓN CASCARILLA SERVICIO CONTINUO SERVICIO INTERMITENTE	900 810	900 810	- 815	925 840	925 840	900 810	
OTRAS PROPIEDADES	SOLDABILIDAD	MUY BUENA	MUY BUENA	NO ACONSEJABLE	MUY BUENA	MUY BUENA	BUENA	
	MAQUINABILIDAD COMPARADO CON UN ACERO BESSEMER PARA a. B1112	45%	45%	55%	45%	45%	36%	
	EMBUTICIÓN	BUENA	BUENA	REGULAR	MUY BUENA	MUY BUENA	BUENA	

AUSTENÍTICO				SERIE 400 - FERRÍTICO					
Acero al Cromo - Níquel - Molibdeno				Acero refractario			Acero al Cromo		
316	316 S	316 L	316 Ti	309	310	310 S	409	420	430
C% 0,08 Máx. Mn% 2,00 Máx. Si% 1,00 Máx. Cr% 16,0018,00 Ni% 10,0014,00 Mo%2,02,50	C% 0,08 Máx. Mn% 2,00 Máx. Si% 1,00 Máx. Cr% 16,0018,00 Ni% 12,0014,00 Mo%2,503,00	C% 0,03 Máx. Mn% 2,00 Máx. Si% 1,00 Máx. Cr% 16,0018,00 Ni% 10,0014,00 Mo%2,002,50	C% 0,08 Máx. Mn% 2,00 Máx. Si% 1,00 Máx. Cr% 16,0018,00 Ni% 10,0014,00 Mo%2,002,50 Ti5xC%0,80	C% 0,20 Máx. Mn% 2,00 Máx. Si% 1,00 Máx. Cr% 22,0024,00 Ni% 12,0015,00	C% 0,25 Máx. Mn% 2,00 Máx. Si% 1,50 Máx. Cr% 24,0026,00 Ni% 19,0022,00	C% 0,08 Máx. Mn% 2,00 Máx. Si% 1,50 Máx. Cr% 24,0026,00 Ni% 19,0022,00	C% 0,08 Máx. Mn% 1,00 Máx. Si% 1,00 Máx. Cr% 10,511,75 Ti6xC%0,75	C% 0,15 Min. Mn% 1,00 Máx. Si% 1,00 Máx. Cr% 12-14	C% 0,10 Máx. Mn% 1,00 Máx. Si% 1,00 Máx. Cr% 16,0018,00
7,95	7,95	7,95	7,95	7,9	7,9	7,9	7,7	7,75	7,7
193.000	193.000	193.000	193.000	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000	200.000
AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	FERRÍTICO	MARTENSÍTICO	FERRÍTICO
500	500	500	500	500	500	500	460	460	460
16 21	16 21	16 21	16 21	12,5 17,5	12,5 17,5	12,5 17,5	- -	28 -	26 27
16,02 16,20 17,46 18,54	16,02 16,20 17,46 18,54	16,02 16,20 17,46 18,54	16,50 18,00 19,00 -	14,9 16,7 17,3 18,-	15,9 16,2 16,9 17,5	15,2 16,6 17,6 18,5	11,7 - - 13	10,2 10,8 11,7 12,2	10,4 11,- 11,4 11,9
13711398	13711398	13711398	1370	13981454	13981454	13981454	14271510	14541510	14271510
AMAGNÉTICO 1,008	AMAGNÉTICO 1,008	AMAGNÉTICO 1,008	AMAGNÉTICO 1,02	AMAGNÉTICO 1,008	AMAGNÉTICO 1,008	AMAGNÉTICO 1,008	FERRO- MAGNÉTICO	FERRO- MAGNÉTICO	FERRO- MAGNÉTICO
0,74	0,74	0,74	0,75	0,78	0,79	0,79	0,59	0,55	0,60
130185 -	130185 -	120170 -	130190 -	140185 -	145210 -	145210 -	120150 -	160190 520225 con tratamiento térmico	135180 180230
7085 -	7085 -	7085 -	7085 -	7085 -	7085 -	7085 -	6580 -	23 -	7588 -
540690 -	540690 -	520670 -	540690 -	540690 -	540690 -	520670 -	360420 -	67 84154 con tratamiento térmico	440590 610900
205410 -	205410 -	195370 -	215380 -	215370 -	215370 -	205370 -	205330 -	205330 -	250400 400860
245	245	235	255	265	265	255	235	235	275
6040 -	6040 -	6040 -	6040 -	5540 -	5540 -	6040 -	3025 -	3025 -	3022 202
7560	7560	7565	7560	7050	7050	7055	-	6055	7060
160 180	160 180	160 180	120 130	160 180	160 180	160 180	95 95	8070 6010	50 65
140 125 105	140 125 105	138 115 95	145 135 125	160 150 145	156 147 137	165 156 147	- - -	- - -	245 215 155
166 147 127	166 147 127	161 137 117	176 166 156	- - -	- - -	181 171 137	- - -	- - -	- - -
82 62 20 6,5	82 62 20 6,5	71 53 15,5 5	82 62 20 6,5	- 49 13,6 4,9	- 70,6 30 15,5	- 58,5 19,5 5	- - - -	- - - -	29,42 16,67 5,88 -
ENFR. RÁPIDO 10081120	ENFR. RÁPIDO 10081120	ENFR. RÁPIDO 10081120	ENFR. RÁPIDO 10201070	ENFR. RÁPIDO 10361120	ENFR. RÁPIDO 10361149	ENFR. RÁPIDO 10361149	ENFR. AL AIRE 885	ENFR. LENTO 843899	ENFR. AL AIRE 750815
NO COGE TEMPLE	NO COGE TEMPLE	NO COGE TEMPLE	NO COGE TEMPLE	NO COGE TEMPLE	NO COGE TEMPLE	NO COGE TEMPLE	NO COGE TEMPLE	9821030C Rev. 149371C	NO COGE TEMPLE
1200 925	1200 925	1200 925	1150 750	1175 980	1175 980	1175 980	1150 750	10931149C (retardar enfriamiento)	1060 650
925 840	925 840	925 840	925 840	1090 1000	1120 1035	1120 1030	800 850	648 809	840 890
MUY BUENA	MUY BUENA	MUY BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA UNIÓN FRÁGIL	BUENA UNIÓN FRÁGIL	BASTANTE BUENA UNIÓN FRÁGIL
45%	45%	45%	-	45%	45%	45%	50%	45%	55%
BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BASTANTE BUENA	MEDIOCRE	BASTANTE BUENA

TABLA DE CORRESPONDENCIA APROXIMADA DE CALIDADES DEL ACERO INOXIDABLE ENTRE NORMAS

EN (EUROPA) Nº		AISI UNS (USA)		AFNOR (FRANCIA)	BSI (REINO UNIDO)	DIN (ALEMANIA)	GOST (FEDERACION RUSA)	JIS (JAPON)	SS (SUECIA)	UNE (ESPAÑA)	UNI (ITALIA)
X 10 CrNi 18-8	1.4310	301	S 30100	Z 11 CN 18-08 Z 11 CN 17-08	301 S 21	1.4310		SUS 301	23 31	X12 CrNi 17-07	X 12 CrNi 1707
		302	S 30200	Z 12 CN 18-09	302 S 25	1.4319				X10CrNi 18-09	X 8 CrNi 1910 X 10 CrNi 1809
X 8 CrNiS 18-9	1.4305	303	S 30300	Z 8 CNF 18-09	303 S 21 303 S 31	1.4305		SUS 303	23 46	X10 CrNiS 18-09	X 10 CrNiS 1809
X 5 CrNi 18-10	1.4301	304	S 30400	Z 7 CN 18-09	304 S 15 304 S 16	1.4301	08 Kh 18N10 08 Kh 18N11	SUS 304	23 32 23 33	X6CrNi 19-10	X 5 CrNi 1810
X 2 CrNi 18-9	1.4307	304 L	S 30403	Z 3 CN 19-09	304 S 11	1.4307		SUS 304 L	23 52		
X 2 CrNi 19-11	1.4306	304 L	S 30403	Z 3 CN 18-10	304 S 11	1.4306	03 Kh 18N 11	SUS 304 L	23 52	X2CrNi 19-10	X 2 CrNi 1811
X 15 CrNiSi 20-12	1.4828	309	S 30900	Z 17 CNS 20-12	309 S 24	1.4828	20 Kh 23N 13	SUH 309			X 16 CrNi 2314
X 12 CrNi 23-13	1.4833	309 S	S 30908	Z 15 CN 23-13		1.4833		SUS 309 S			X 6 CrNi 2314
		310	S 31000		310 S 24	1.4845	20 Kh 23N 18	SUH 310			X 22 CrNi 2520
X 8 CrNi 25-21	1.4845	310 S	S 31008	Z 8 CN 25-20	310 S 16	1.4845 1.4842	10 Kh 23N 18	SUS 310 S	23 61		X 6 CrNi 2520
X 5 CrNiMo 17-12-2	1.4401	316	S 31600	Z 7 CND 17-11-02	316 S 31	1.4401		SUS 316	23 47	X6CrNiMo 17-12-03	X 5 CrNiMo 1712
X 3 CrNiMo 17-13-3	1.4436	316	S 31600	Z 7 CND 17-12-02	316 S 33	1.4436		SUS 316	23 43	X6CrNiMo 17-12-03	X 5 CrNiMo 1713
X 2 CrNiMo 17-12-2	1.4404	316 L	S 31603	Z 3 CND 17-11-02 Z 3 CND 17-12-02	316 S 11	1.4404	03 Kh 17N 14 M2	SUS 316 L	23 48	X2CrNiMo 17-12-03	X 2 CrNiMo 1712
X 2 CrNiMo 18-14-3	1.4435	316 L	S 31603	Z 3 CND 18-14-03	316 S 13	1.4435	03 Kh 16N 15 M3		23 53	X2CrNiMo 17-12-03	X 2 CrNiMo 1713
X 2 CrNiMo 17-12-3	1.4432	316 L	S 31603	Z 3 CND 17-13-03	316 S 13	1.4432		SUS 316 L	23 53	X2CrNiMo 17-12-03	X 2 CrNiMo 1713
X 6 CrNiMoTi 17-12-2	1.4571	316 Ti	S 31635	Z 6 CNDT 17-12	320 S 31	1.4571	08 Kh 17N 13 M2T 10 Kh 17N 13 M2T	SUS 316 Ti	23 50	X6CrNiMoTi 17-12-03	X 6 CrNiMoTi 1712
X 6 CrNiTi 18-10	1.4541	321	S 32100	Z 6 CNT 18-10	321 S 31	1.4541	08Kh 18N 10 T	SUS 321	23 37	X6CrNiTi 18-11	X 6 CrNiTi 1811
X 6 CrAl 13	1.4002	405	S 40500	Z 8 CA 12	405 S 17	1.4002		SUS 405		X6CrAl 13	X6CrAl 13
X 2 CrTi 12	1.4512	409	S 40900	Z 3 CT 12	409 S 19	1.4512		SUH 409 L SUS 409			X2CrTi12 X6CrTi12
X 6 Cr 17	1.4016	430	S 43000	Z 8 C 17	430 S 17	1.4016	12Kh 17	SUS 430	23 20	X8Cr17	X8Cr17
X 6 CrMo 17-1	1.4113	434	S 43400	Z 8 CD 17-01	434 S 17	1.4113		SUS 434			X8CrMo 17
X 20 Cr 13	1.4021	420	S 42000	Z 20 C 13	420 S 29 420 S 37	1.4021	20 Kh 13	SUS 420 J1	23 03	X20Cr 13	X20 Cr 13
X 30 Cr 13	1.4028	420	S 42000	Z 33 C 13	420 S 45	1.4028	30 Kh 13	SUS 420 J2	23 04	X30Cr 13	X30 Cr 13
X 39 Cr 13	1.4031	420	S 42000	Z 33 C 13	420 S 45	1.4031			23 04		
X 46 Cr 13	1.4034	420	S 42000	Z 44 C 14		1.4034	40 Kh 13			X40Cr 13	X40 Cr 14
X 17 CrNi 16-2	1.4057	431	S 43100	Z 15 CN 16-02	431 S 29	1.4057	20 Kh 17 N 2	SUS 431	23 21	X15CrNi 16	X16Cr Ni 16





Technical Data Sheet

PLA by Innofil3D BV

Filament suitable for all commercially available leading brands 3D FDM/FFF printers

IDENTIFICATION OF THE MATERIAL

Trade name	Innofil3D PLA
Chemical name	Polylactic Acid
Chemical family	Thermoplastic Polylactic Acid
Use	3D-Printing
Origin	Innofil3D BV

GUIDELINE FOR PRINT SETTINGS

Nozzle temperature	220 ± 10 °C
Bed temperature	Approx. 60 °C
Bed modification	Tape or glue below 60 °C
Active cooling fan	YES (up to 100%)
Layer height	0.08 - 0.2 mm
Shell thickness	0.4 - 0.8 mm
Print speed	40 - 80 mm/s

Settings are based on a 0.4 mm nozzle

MATERIAL PROPERTIES

MATERIAL PROPERTIES		Test Method
Melt temperature	145 - 160 °C	ASTM D3418
Glass transition temperature	~ 60 °C	ASTM D3418
Melt Flow Rate ¹	6.09 g/10min	ISO 1133
Melt Volume Rate ¹	6.73 cm ³ /10min	ISO 1133
Density	1.26 g/cm ³	ASTM D1505
Odor	Odorless	/
Solubility	Insoluble in water	/

¹Test conditions: T = 210 °C; m = 2.16 kg



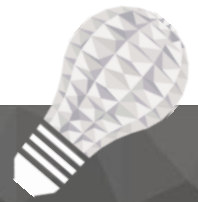
MECHANICAL PROPERTIES TENSILE TEST			Test Method ISO 527	
All test specimens were printed using an Ultimaker 2+ under the following conditions: Printing temperature: 210 °C Heated bed temperature: 60 °C Print speed: 40 mm/s Number of shells: 2 Infill under 45°	<p>Printed vertical (Z-axis)</p>		<p>Printed horizontal (X,Y-axis)</p>	
	Infill	50%	100%	50%
Tensile strength (MPa)	13.6 ± 2.6	28.8 ± 4.2	24.1 ± 0.6	38.1 ± 0.9
Force at break (MPa)	13.4 ± 2.5	28.6 ± 4.1	23.9 ± 0.7	36.3 ± 1.2
Elongation at max force (%)	0.7 ± 0.2	1.1 ± 0.3	2.2 ± 0.1	2.1 ± 0.0
Elongation at break (%)	0.7 ± 0.2	1.1 ± 0.3	2.4 ± 0.1	2.8 ± 0.2
Relative tensile strength (MPa/g)	1.5 ± 0.3	2.4 ± 0.4	2.7 ± 0.1	3.3 ± 0.1
Emodulus (MPa)	2028 ± 59	3150 ± 54	1760 ± 38	2852 ± 88

MECHANICAL PROPERTIES IMPACT TEST		Test Method ISO 179		
All test specimens were printed using an Ultimaker 2+ under the following conditions: Printing temperature: 210 °C Heated bed temperature: 60 °C Print speed: 40 mm/s Number of shells: 2 Infill under 45° 1 →: impact direction	<p>Charpy (en)</p>		<p>Charpy (ep)</p>	
	Infill	100%		100%
Impact strength (kJ/m ²)	14.2 ± 0.7		13.1 ± 0.7	
Impact energy (mJ)	521.5 ± 26.8		501.7 ± 31.1	



MECHANICAL PROPERTIES FLEXURAL TEST		Test Method	ISO 178
<p>All test specimens were printed using an Ultimaker 2+ under the following conditions: printing temperature: 210 °C heated bed temperature: 60 °C print speed: 40 mm/s number of shells: 2 Infill under 45° 1 →: bending direction</p>	<p>Normal</p>	<p>Parallel</p>	
	Infill	100%	100%
Flexural modulus (MPa)	2409.5 ± 206.3	2551.4 ± 100.8	
Maximum force (MPa)	65.7 ± 5.3	86.2 ± 3.2	
Deformation (%)	4.1 ± 0.2	3.8 ± 0.2	

FILAMENT SPECIFICATIONS		Test Method
Diameter 1.75	1.75 ± 0.05 mm	Innofil3D
Diameter 2.85	2.85 ± 0.10 mm	Innofil3D
Max. roundness deviation 1.75	0.05 mm	Innofil3D
Max. roundness deviation 2.85	0.10 mm	Innofil3D
Net weight on reel	750 g ± 2%	Innofil3D



LIST OF COLORS AND CERTIFICATIONS*						
Colour	Code	RAL nr./ Pantone	Certifications/approvals			
			10/2011 ¹	FDA ²	2011/65 ³	EN 71-3 ⁴
Naturel	0001	N/A	Yes	Yes	Yes	Yes
Black	0002	9005	Yes	Yes	Yes	Yes
White	0003	9010	Yes	Yes	Yes	Yes
Red	0004	3020	Yes	<u>No</u>	Yes	Yes
Blue	0005	5002	Yes	Yes	Yes	Yes
Yellow	0006	1003	Yes	Yes	Yes	Yes
Green	0007	6018	Yes	Yes	Yes	Yes
Army Green	0009	6003	Yes	Yes	Yes	Yes
Orange	0009	2008	Yes	<u>No</u>	Yes	Yes
Pearl White	0011	1013	Yes	Yes	Yes	Yes
Chocolate Brown	0013	8017	Yes	Yes	Yes	Yes
Gold	0014	1036	Yes	Yes	Yes	Yes
Light Blue	0015	5012	Yes	Yes	Yes	Yes
Violet	0016	4008	Yes	Yes	Yes	Yes
Apricot Skin	0019	7415C	Yes	<u>No</u>	Yes	Yes
Pink	0020	N/A	Yes	<u>No</u>	Yes	Yes
Silver	0021	9006	Yes	Yes	Yes	Yes
Magenta	0022	4010	Yes	<u>No</u>	Yes	Yes
Grey	0023	7045	Yes	<u>No</u>	Yes	Yes
Bronze	0032	8008	Yes	Yes	Yes	Yes
Sky Blue	0035	N/A	Yes	Yes	Yes	Yes
Orange Translucent	0010	1028**	Yes	Yes	Yes	Yes
Blue Translucent	0024	5022**	Yes	Yes	Yes	Yes
Dark Green Translucent	0025	6005**	Yes	Yes	Yes	Yes
Ice Blue Translucent	0026	5024**	Yes	Yes	Yes	Yes
Ocean Blue Translucent	0027	5001**	Yes	Yes	Yes	Yes

* This overview is generated using information obtained from the raw material suppliers.

** RAL number used to manufacture the (semi-)transparent colour.

Certifications/approvals	Description
¹ Regulation EU No 10/2011:	Union Guidelines on Regulation (EU) No 10/2011 on plastic materials and articles intended to come into contact with food (Europe)
² FDA:	Food and Drug administration approval (U.S.A.)
³ Directive 2011/65/EU:	The restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (Europe)
⁴ Directive 2009/48/EC; EN 71-3:	Safety of toys - Part 3: Migration of certain elements (Europe)