
Índice de Contenidos

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN.....	12
1.1 PRESENTACIÓN	13
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	13
1.3 PROBLEMÁTICA	14
1.4 ANTECEDENTES	14
1.4.1 <i>Frutos electrónicos</i>	14
1.4.2 <i>Daños por impacto.</i>	19
1.5 OBJETIVOS.....	22
1.5.1 <i>Objetivo General</i>	22
1.5.2 <i>Objetivos específicos</i>	22
CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA Y MATERIALES.....	23
2.1 PLAN DE TRABAJO	24
2.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN MANZANA ELECTRÓNICA	26
2.2.1 <i>Microcontrolador ATmega168.</i>	26
2.2.2 <i>Acelerómetro ADXL345</i>	27
2.2.3 <i>Memoria FRAM FM24V10</i>	29
2.2.4 <i>Hardware</i>	29
2.2.5 <i>Software</i>	37
2.2.6 <i>Observaciones del modelo manzana electrónica.</i>	45
2.3 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CEREZA ELECTRÓNICA	46
2.3.1 <i>Hardware</i>	46
2.3.2 <i>Software</i>	49
2.4 METODOLOGÍA PARA TOMAR MUESTRAS.....	52
2.5 METODOLOGÍA PARA ANALIZAR GOLPES EN DISTINTOS MATERIALES.....	52
2.6 VALIDACIÓN DE DATOS.	54
CAPÍTULO 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	56
3.1 ENSAYOS CON MANZANA ELECTRÓNICA.....	57
3.2 VALIDACIÓN DE DATOS.	59
3.3 MUESTRAS EN DISTINTOS MATERIALES.....	61
CAPÍTULO 4 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	64
4.1 CONCLUSIONES	65
4.2 TRABAJOS FUTUROS	67
4.2.1 <i>Aumento del rango de medición.</i>	67
4.2.2 <i>Implementar interfaz de usuario en android</i>	69
4.2.3 <i>Análisis de umbrales de daño en fruta.</i>	69

APÉNDICE A. FABRICACIÓN DE PCB UTILIZANDO MÉTODO DE EXPOSICIÓN UV	72
APÉNDICE B. PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN SERIAL.....	78
APÉNDICE C. PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN I2C	81
APÉNDICE D. SOLDADURA POR REFLUJO, REFLOW SOLDERING.	84
APÉNDICE E. ERROR EN LA VALIDACIÓN DE LOS DATOS	87
APÉNDICE F. CÓDIGO FUENTE DEL REGISTRADOR DE IMPACTOS.....	90
ANEXO A PLANOS ELECTRÓNICOS.....	103
ANEXO B HOJA DE DATOS.....	108

Índice de Tablas

<i>Tabla 1.1 Nivel de aceleración obtenido en estudio de daño realizado con manzanas</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 2.1 Características principales del microcontrolador ATmega168.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 2.2 Características principales del acelerómetro triaxial ADXL345.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 2.3 Características principales de la memoria Ferroelectric RAM FM24V10.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 2.4 Factor de multiplicación según la escala de trabajo. (Analog Devices, 2011).....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 2.5 Formato para guardar eventos de aceleración en la memoria.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 2.6 Tiempo por cada operación para primer valor del evento.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 2.7 Tiempo por cada operación desde el segundo valor del evento.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 2.8 cálculo de la aceleración obtenida con la Ec. 2.2 par posterior comparación con datos experimentales.....</i>	<i>54</i>

Índice de Ilustraciones

Figura 1.1 – Instrumented sphere IS100. (a) Estructura interna. (b) IS100 e interfaz de comunicación con PC.	15
Figura 1.2 - Fruto electrónico IRD desarrollado por la empresa Techmark Inc.....	16
Figura 1.3 – Esquema de conexión IRD. (a) Computador Personal. (b) Sistema portátil IPAQ.....	17
Figura 1.4 - Fruto electrónico BIRD desarrollado en la Universidad de Georgia.....	18
Figura 1.5 – Estructura interna del BIRD de la universidad de Georgia.	18
Figura 1.6 – Interfaz gráfica y de comunicación del BIRD.	19
Figura 1.7 – Muestras realizadas con el IS100 sobre distintas superficies.	20
Figura 2.1 Procedimiento para la elaboración de la manzana y cereza electrónica.....	25
Figura 2.2 – Atmega168 encapsulado TQFP.....	26
Figura 2.3 – Placa de evaluación ADXL345.....	27
Figura 2.4 – Estructura interna del acelerómetro 28	28
Figura 2.5 – FM24V10 encapsulado SOIC 8.....	29
Figura 2.6 – Esquema general de funcionamiento del sistema registrador de impactos.....	30
Figura 2.7 – Esquema de conexión del circuito de la manzana electrónica.	30
Figura 2.8 – PCB manzana electrónica fabricada en CNC 31	31
Figura 2.9 – PCB manzana electrónica. (a) Esquema diseñado en Eagle 5.8. (b) PCB y batería.	32
Figura 2.10 – Interfaz de comunicación. (a) Diseño en Eagle 5.8. (b) PCB construida en PCNC1100.....	33
Figura 2.11 – Registrador de impactos e interfaz de comunicación conectadas al PC.	34
Figura 2.12 – Manzana electrónica (a) Diseño de la esfera. (b) Esfera de ERTALÓN que aloja al circuito y batería.	35
Figura 2.13 – Diagrama de flujo del programa principal del registrador de impactos.	37
Figura 2.14 – Diagrama de flujo de a interrupción ocasionada por la comunicación serial.....	38
Figura 2.15 – Diagrama de flujo de a interrupción ocasionada por el temporizador para toma de muestras.40	40
Figura 2.16 – Diagrama de flujo subrutina de descarga de datos.....	43
Figura 2.17 – Interfaz gráfica. (a) Pantalla de administración. (b) Pantalla de resultados.	45
Figura 2.18 – Esquema de conexión cereza electrónica.	46
Figura 2.19 – Cereza electrónica. (a) Esquema diseñado en Eagle. (b) PCB.	47
Figura 2.20 – Batería recargable LIR2450.....	48
Figura 2.21 – Cereza electrónica (a) Plástico duro relleno de silicona. (b) Caucho silicona.....	49
Figura 2.22 – Diagrama de flujo de la subrutina modificada de adquisición y almacenamiento de los datos.51	51
Figura 2.23 – Lanzamientos del sensor en caída libre para distintos materiales.	53
Figura 2.24 – Proceso de validación de datos.	55
Figura 3.1 – Sección inicial línea de manzana Agroindustrial Surfrut LTDA. (a) Elevador de polines y separador de hojas. (b) pre-calibrador. (c) Calibrador mecánico. (d) Transferencia de cinta a elevador.	57
Figura 3.2 – Datos registrados en equipos de línea de manzana.	58
Figura 3.3 – Gráficos de aceleración para la validación de los datos. (a) datos obtenidos con el modelo teórico. (b) datos obtenidos experimentalmente.....	59
Figura 3.4 – Validación de los datos utilizando centrifuga. (a) Registro continuo a diferentes velocidades de rotación, visualizado en interfaz gráfica. (b) Comparación del modelo teórico con los resultados experimentales.....	60
Figura 3.5 – Análisis de un golpe efectuado en Goma y acero inoxidable.	61
Figura 3.6 – Muestras tomadas a 1600Hz con la cereza electrónica de superficie rígida y centro de silicona.	62
Figura 4.1 – Configuración de pines del acelerómetro ADXL001.....	67
Figura 4.2- Esquema propuesto para el montaje del acelerómetro ADXL001.	68

<i>Figura 4.3 – Esquema de montaje de cereza electrónica con ADXL001</i>	<i>68</i>
<i>Figura A.1 – Materiales para la fabricación de una placa impresa.</i>	<i>74</i>
<i>Figura A.2 – Corte y perforación de la placa de cobre en CNC.</i>	<i>74</i>
<i>Figura A.3 – PCB sumergida en solución de hidróxido de sodio y agua.</i>	<i>76</i>
<i>Figura A.4 – Pistas marcadas luego de la exposición UV.</i>	<i>76</i>
<i>Figura A.5 – PCB fabricada con el método de exposición UV.</i>	<i>77</i>
<i>Figura A.6 – PCB con componentes montados.</i>	<i>77</i>
<i>Figura B.1 – Protocolo de comunicación utilizado para configurar el umbral de aceleración.</i>	<i>79</i>
<i>Figura B.2 – Protocolo de comunicación serial utilizado para activar el muestreo.</i>	<i>80</i>
<i>Figura B.3 – Protocolo de comunicación serial para la descarga de los datos.</i>	<i>80</i>
<i>Figura C.2 - Esquema de conexión bus I2C.</i>	<i>82</i>
<i>Figura C.3 – protocolo de comunicación I2C para escritura. (Analog Devices, 2011)</i>	<i>83</i>
<i>Figura C.4 – Protocolo de comunicación I2C para lectura. (Analog Devices, 2011)</i>	<i>83</i>
<i>Figura D.2 - Curva de soldadura por refusión.</i>	<i>85</i>
<i>Figura D.3 – Proceso de soldadura por reflujo. (a)Placa con estaño en pasta. (b)Horno eléctrico y termómetro digital utilizado para la soldadura. (c) Resultado obtenido.</i>	<i>86</i>
<i>Figura D.4 – Temperaturas y tiempos para soldadura del acelerómetro ADXL345.</i>	<i>86</i>
<i>Figura F.1– Interfaz de comunicación inalámbrica por Bluetooth. (a) Esquema en Eagle. (b) PCB.</i>	<i>88</i>

Glosario de Términos

- Ad-hoc: Que es apropiado o está dispuesto especialmente para un fin.
- BERRIES: fruta producida a partir de un solo ovario, ejemplo, Arándano, tomates, uva, caqui, etc.
- CALIBRE: Diámetro exterior de la fruta.
- CAROZOS: Se conoce como carozo a la semilla central que poseen frutas como las cerezas o duraznos.
- CNC: Control Numérico Computarizado
- Encapsulado SOIC: Small-Outline Integrated Circuit (circuito integrado de contorno pequeño).
- Encapsulado TQFP: Thin Quad Flat Package (encapsulado cuadrado plano).
- INTA: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria Argentina.
- IRD: Impact Recording Device. Sensor comercializado por la empresa Techmark Inc.
- IS100: Instrumented sphere. Sensor desarrollado en la Universidad del Estado de Michigan
- MACHUCÓN: Daño producto de golpes o compresión del fruto, con deterioro de la pulpa, la cual se pardea y/o ablanda.
- PC: Personal Computer
- PCB: Printed Circuit Board
- POMACEAS: Fruto con mesocarpio carnoso de abundante pulpa y endocarpio coriáceo, como la manzana y la pera.
- POSCOCECHA: período comprendido entre la cosecha de la fruta u hortaliza y el momento en que esta es consumida.
- SMD: Surface Mount Component
- SMT: Surface-mount technology
- TWI: Two Wire Interface protocolo de comunicación incorporado en los microcontroladores Atmel, compatible con el protocolo de comunicación I2C de Phillips.
- UART: Universal Asynchronous Receiver-Transmitter.
- USART: Universal Synchronous/Asynchronous Receiver Transmitter.