



UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA

UNIDAD DE POSGRADOS

**MAESTRÍA EN MÉTODOS MATEMÁTICOS Y
SIMULACIÓN NUMÉRICA EN INGENIERÍA**

**Proyecto de investigación y
desarrollo previo a la obtención del
Grado de Magister en Métodos
Matemáticos y Simulación
Numérica en Ingeniería**

**DISEÑO DE UN SISTEMA INTELIGENTE DE
PREDICCIÓN Y SIMULACIÓN PARA LA
ESCRITURA EN NIÑOS CON ESPASTICIDAD**

Autor:

Luis Javier Serpa Andrade.

Director:

PhD. Vladimir Robles Bykbaev, Mst.

**DISEÑO DE UN SISTEMA INTELIGENTE DE
PREDICCIÓN Y SIMULACIÓN PARA LA
ESCRITURA EN NIÑOS CON ESPASTICIDAD**

DISEÑO DE UN SISTEMA INTELIGENTE DE PREDICCIÓN Y SIMULACIÓN PARA LA ESCRITURA EN NIÑOS CON ESPASTICIDAD

AUTOR:

LUIS JAVIER SERPA ANDRADE

Ingeniero Electrónico

Egresado de la Maestría en Métodos Matemáticos y Simulación Numérica en
Ingeniería.

DIRIGIDO POR:

PhD. VLADIMIR ESPARTACO ROBLES BYKBAEV.

Ingeniero en Sistemas

Máster en Inteligencia Artificial, Reconocimiento de Formas e Imagen Digital
Coordinador del grupo de Investigación en Inteligencia Artificial y
Tecnologías de asistencia

Doctor en Tecnologías de la Información y Comunicación de la Universidad de
Vigo

Docente de la carrera de Ingeniería en Sistemas

Docente de la Maestría en Métodos Matemáticos y Simulación Numérica en
Ingeniería



CUENCA – ECUADOR

Datos de catalogación bibliográfica

SERPA ANDRADE LUIS JAVIER

“DISEÑO DE UN SISTEMA INTELIGENTE DE PREDICCIÓN Y SIMULACIÓN PARA LA ESCRITURA EN NIÑOS CON ESPASTICIDAD”

Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca – Ecuador, 2017

MAESTRIA EN MÉTODOS MATEMÁTICOS Y SIMULACIÓN NUMÉRICA EN INGENIERÍA

Formato 170 x 240 mm

Páginas: 93

Breve reseña de los autores e información de contacto

Autor:

LUIS JAVIER SERPA ANDRADE

Ingeniero Electrónico

Master en Control y Automatizaciones Industriales

Docente de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca

Colaborador en el grupo de Investigación en Inteligencia Artificial y tecnologías de asistencia

luiserpandrade@gmail.com



Dirigido por:

VLADIMIR ESPARTACO ROBLES BYKBAEV

Ingeniero en Sistemas

Máster en Inteligencia Artificial, Reconocimiento de Formas e Imagen Digital

Coordinador del grupo de Investigación en Inteligencia Artificial y Tecnologías de asistencia.

Doctor en Tecnologías de la Información y Comunicación de la Universidad de Vigo

Docente de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca

Docente de la Maestría en Modelos Matemáticos y Simulación Numérica para Ingeniería

vrobles@ups.edu.ec



Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

©2017 Universidad Politécnica Salesiana.

CUENCA – ECUADOR

SERPA ANDRADE LUIS JAVIER.

“DISEÑO DE UN SISTEMA INTELIGENTE DE PREDICCIÓN Y SIMULACIÓN PARA LA ESCRITURA EN NIÑOS CON ESPASTICIDAD”

IMPRESO EN ECUADOR – PRINTED IN ECUADOR

ÍNDICE GENERAL

1. ESTUDIO PRELIMINAR Y ESTADO DE ARTE DE LAS TÉCNICAS DE RECONOCIMIENTO GRAFOLÓGICO.....	1
1.1. Espasticidad en niños: una breve revisión de su realidad	1
1.2. Introducción a la terapia de lenguaje	5
1.4. Grafología aplicada a pacientes con discapacidades o trastornos asociados a la espasticidad.....	17
2. MANEJO DE DESCRIPTORES GRAFOLÓGICOS	21
2.1. Etapas de pre y post-procesamiento de datos	21
2.2. Modelo matemático de los métodos para obtener los descriptores y clasificado-res	29
2.2.1. Transformada Wavelet	29
2.2.2. Filtros dinámicos simbólicos (SDF)	30
2.2.3. Autocorrelación	31
2.2.4. Formación de clúster	32
2.3. Análisis de la implementación del modelo propuesto	33
3. DISEÑO DE LA PROPUESTA Y CONSTRUCCIÓN DEL CORPUS GRAFOLÓGICO	36
3.1. Diseño de un sistema inteligente de predicción de escritura	36
3.2. Extracción de características del corpus utilizado.	40
3.2.1. Extracción de características de los sensores de presión	40
3.2.2. Extracción de características de la posición	46
3.3. Evaluación de la metodología propuesta desde el ámbito de la terapia de lenguaje y conceptos necesarios.....	49
3.3.1. Trastornos del Lenguaje Escrito	49
3.3.2. El Trazo	50
3.3.3. Clasificación: Tipos de Trastornos Motrices:	52
3.4. Codificación e implementación de los scripts.	53
4. DISEÑO DEL PLAN DE EXPERIMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	55
4.1. Diseño del plan de experimentación.....	55
4.2. Ejecución del plan de experimentación.	56

4.3.	Resultados del sistema propuesto.	57
4.3.1.	Reconocimiento de datos obtenidos desde la escritura	57
4.3.2.	Análisis de resultados obtenidos.....	57
4.3.2.1.	Relación de direccionalidad.....	57
4.3.2.2.	Modelado de la relación de direccionalidad	63
4.3.2.3.	Modelado de la relación de direccionalidad y presiones	64
4.3.2.3.1.	Gráficas de presiones vs posición de un niño regular	66
4.3.2.3.2.	Gráficas de presiones vs posición de un niño con espasticidad	71
4.3.2.3.3.	Gráficas de presiones vs posición de un niño con atetosis.....	77
4.3.2.4.	Relación entre grafos de niños regulares, con atetosis y con espasticidad	82
	CONCLUSIONES	87
	RECOMENDACIONES	88

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. EVOLUCIÓN DE LA ESPASTICIDAD (VIVANCOS-MATEKKABI, PASCUAL-PASCUAL, & NARDI-VILARDAGA, 2007)	3
FIGURA 2. ARQUITECTURA GENERAL DEL ECOSISTEMA SPELTA PROPUESTO (ROBLES-BYKBAEV, 2016).....	7
FIGURA 3. UNIDAD ESPECIALIZADA DE TRATAMIENTO PARA LA ESPASTICIDAD. (VIVANCOS-MATEKKABI, PASCUAL-PASCUAL, & NARDI-VILARDAGA, 2007).....	8
FIGURA 4. ALGORITMO DE ACTUACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE LA ESPASTICIDAD (VIVANCOS-MATEKKABI, PASCUAL-PASCUAL, & NARDI-VILARDAGA, 2007).....	10
FIGURA 5. OPCIONES TERAPÉUTICAS EN EL TRATAMIENTO FARMACOLÓGICO DE LE ESPASTICIDAD (VIVANCOS-MATEKKABI, PASCUAL-PASCUAL, & NARDI-VILARDAGA, 2007)	13
FIGURA 6. MODELO DINÁMICO DE UNA RED RECURRENTE PARA EL RECONOCIMIENTO DE CARACTERES (NISHIDE, OKUNO, OGATA, & TANI, 2011).....	17
FIGURA 7. PROCESO DE ADQUISICIÓN Y MANIPULACIÓN DE DATOS DE UN GRAFO (AUBIN V. I., 2013)	18
FIGURA 8. VARIABLES QUE RECOLECTAN INFORMACIÓN DE ESCRITURA (AUBIN, 2015)	18
FIGURA 9. SECUENCIA PARA LA ADQUISICIÓN DE CARACTERÍSTICAS Y PROCESAMIENTO DE UN GRAFO (PRASAD, SINGH, & SAPRE, 2010).....	19
FIGURA 10. ENTRENAMIENTO DE LA ESCRITURA DE LA LETRA “T” (CHAMPA & ANADAKUMAR, 2010)	19
FIGURA 11. MODELO PROPUESTO PARA EL RECONOCIMIENTO DE CARACTERES (IWAYAMA & AKIYAMA, 2004).....	20
FIGURA 12. PROPUESTA DE LA PREDICCIÓN DEL GENERO A PARTIR DEL ESTUDIO DE GRAFOLOGÍA (YOUNES AKBARI, KAZEM NOURI, JAVAD SADRI, CHAWKI DJEDDI, & IMRAN SIDDIQI, 2017)	22
FIGURA 13. PROPUESTA PARA LA PREDICCIÓN (MURAT TOPALOGLU & SEHER EKMEKCI, 2017)	23
FIGURA 14. SISTEMA FODEX (SHWETA HEGADE, GARGEE HIRAY, PRAJKTA MALI, & PROF. PUNAM RASKAR, 2015)	24
FIGURA 15. SISTEMA PROPUESTO DE RECONOCIMIENTO DE CARACTERÍSTICAS GRAFOLÓGICAS (BEHNAME FALLAH & HASSAN KHOTANLOU, 2015)	25
FIGURA 16. SISTEMA PROPUESTO PARA LA EXTRACCIÓN DE CARACTERÍSTICAS (DIAN PRATIWI, GATOT BUDI SANTOSO, & PIQIH HANA SAPUTRI, 2017).....	27
FIGURA 17. MASCARAS DE IMÁGENES 3X3 UTILIZADAS EN EL MÉTODO DE PROBABILIDAD (BEHNAME FALLAH & HASSAN KHOTANLOU, 2015)	32
FIGURA 18. SISTEMA INTELIGENTE PROPUESTO EN FORMA GLOBAL	34
FIGURA 19. MODELO DE EXTRACCIÓN DE CARACTERÍSTICAS	34
FIGURA 20. ALGORITMO PARA REALIZAR EL MODELAMIENTO DEL COMPORTAMIENTO EN EL GRAFISMO.	37
FIGURA 21. STRESS EN EL DISEÑO INICIAL (SERPA-ANDRADE, GONZALEZ-DELGADO, & VERDUGO-CABRERA, 2016).....	38

FIGURA 22. SE MUESTRA (A) ÁREAS DE LAS POSICIONES DE LOS DEDOS. (B) RESULTADOS DE LA DEFORMACIÓN (GONZALEZ-DELGADO, Y OTROS, 2017)	38
FIGURA 23. CURVA CARACTERÍSTICA DEL SENSOR DE PRESIÓN (OJEDA, 2017).....	39
FIGURA 24. ESQUEMA ELÉCTRICO PARA LA OBTENCIÓN DE SEÑALES DE PRESIÓN (OJEDA, 2017)	39
FIGURA 25. CURVA CARACTERÍSTICA DEL SENSOR DE PRESIÓN CON RESPECTO A LOS NIVELES DE BITS (OJEDA, 2017).....	45
FIGURA 26. SISTEMA INICIAL EN O DEFINIENDO LA TRUPLA (I,J,K).....	46
FIGURA 27. POSICIÓN DEL GRAFO EN LA PANTALLA	48
FIGURA 28. DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA	53
FIGURA 29. SCRIPT DE TOMA DE DATOS DE UN LÁPIZ GRAFOLÓGICO.....	54
FIGURA 30. HERRAMIENTA CURVE FITTING TOOL DE MATLAB	54
FIGURA 31. GRÁFICAS DE PRESIONES P1, P2, P3 DEL TRIÁNGULO (A), DEL CÍRCULO (B) Y DEL CUADRADO (C) CON LÍNEA GUÍA PARA UN NIÑO REGULAR.	59
FIGURA 32. GRÁFICAS DE PRESIONES P1, P2, P3 DEL TRIÁNGULO (A), DEL CÍRCULO (B) Y DEL CUADRADO (C) CON LÍNEA GUÍA PARA UN NIÑO CON ESPASTICIDAD.	61
FIGURA 33. GRÁFICAS DE PRESIONES P1, P2, P3 DEL TRIÁNGULO (A), DEL CÍRCULO (B) Y DEL CUADRADO (C) CON LÍNEA GUÍA PARA UN NIÑO CON ATETOSIS.....	63
FIGURA 34. GRÁFICAS DE LA RELACIÓN DE PRESIONES Y POSICIÓN DEL TRIÁNGULO (A) P1 (B) P2 (C) P3, PARA UN NIÑO REGULAR.....	68
FIGURA 35. GRÁFICAS DE LA RELACIÓN DE PRESIONES Y POSICIÓN DEL CÍRCULO (A) P1 (B) P2 (C) P3, PARA UN NIÑO REGULAR.....	69
FIGURA 36. GRÁFICAS DE LA RELACIÓN DE PRESIONES Y POSICIÓN DEL CUADRADO (A) P1 (B) P2 (C) P3, PARA UN NIÑO REGULAR.	71
FIGURA 37. GRÁFICAS DE LA RELACIÓN DE PRESIONES Y POSICIÓN DEL TRIÁNGULO (A) P1 (B) P2 (C) P3, PARA UN NIÑO CON ESPASTICIDAD.....	73
FIGURA 38. GRÁFICAS DE LA RELACIÓN DE PRESIONES Y POSICIÓN DEL CÍRCULO (A) P1 (B) P2 (C) P3, PARA UN NIÑO CON ESPASTICIDAD.....	75
FIGURA 39. GRÁFICAS DE LA RELACIÓN DE PRESIONES Y POSICIÓN DEL CUADRADO (A) P1 (B) P2 (C) P3, PARA UN NIÑO CON ESPASTICIDAD.....	77
FIGURA 40. GRÁFICAS DE LA RELACIÓN DE PRESIONES Y POSICIÓN DEL TRIÁNGULO (A) P1 (B) P2 (C) P3, PARA UN NIÑO CON ATETOSIS.	79
FIGURA 41. GRÁFICAS DE LA RELACIÓN DE PRESIONES Y POSICIÓN DEL CÍRCULO (A) P1 (B) P2 (C) P3, PARA UN NIÑO CON ATETOSIS.	80
FIGURA 42. GRÁFICAS DE LA RELACIÓN DE PRESIONES Y POSICIÓN DEL CUADRADO (A) P1 (B) P2 (C) P3, PARA UN NIÑO CON ATETOSIS.	82
FIGURA 43. GRÁFICAS DE LOS GRAFOS DE NIÑOS A) REGULARES, B) CON ESPASTICIDAD Y C) CON ATETOSIS DEL TRIÁNGULO EN EL PLANO.	84
FIGURA 44. GRÁFICAS DE LOS GRAFOS DE NIÑOS A) REGULARES, B) CON ESPASTICIDAD Y C) CON ATETOSIS EN EL ESPACIO	86

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. EFECTOS DE LA ESPASTICIDAD (MONICA & LILLO, 2014).....	4
TABLA 2. PRINCIPIOS EN LA INTERVENCIÓN LOGOPÉDICA (ROBLES-BYKBAEV, 2016).....	5
TABLA 3. FÁRMACOS UTILIZADOS EN EL TRATAMIENTO DE PACIENTES CON ESPASTICIDAD MOTRIZ (RODRIGUEZ MUTUBERRIA, SERRA VALDEX, & OTHERS, 2004)	11
TABLA 4. INDICACIONES DEL TRATAMIENTO NEUROQUIRÚRGICO DE LA ESPASTICIDAD (VIVANCOS-MATEKKABI, PASCUAL-PASCUAL, & NARDI-VILARDAGA, 2007).....	15
TABLA 5. RESUMEN DE SISTEMAS DE ANÁLISIS DE ESCRITURA. (SHWETA HEGADE, GARGEE HIRAY, PRAJKTA MALI, & PROF. PUNAM RASKAR, 2015), (MURAT TOPALOGLU & SEHER EKMEKCI, 2017)	27
TABLA 6. PRUEBA DE SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.	55
TABLA 7. FORMULARIO DE PARA SOFTWARE DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL GRAFISMO PARA SU PREDICCIÓN Y MODELACIÓN	56
TABLA 8. COEFICIENTES DEL POLINOMIO PARA LAS ECUACIONES DE PRESIÓN VS POSICIÓN DEL TRIÁNGULO PARA UN NIÑO REGULAR.	66
TABLA 9. COEFICIENTES DEL POLINOMIO PARA LAS ECUACIONES DE PRESIÓN VS POSICIÓN DEL CÍRCULO PARA UN NIÑO REGULAR.	68
TABLA 10. COEFICIENTES DEL POLINOMIO PARA LAS ECUACIONES DE PRESIÓN VS POSICIÓN DEL CÍRCULO PARA UN NIÑO REGULAR.	70
TABLA 11. COEFICIENTES DEL POLINOMIO PARA LAS ECUACIONES DE PRESIÓN VS POSICIÓN DEL TRIÁNGULO PARA UN NIÑO REGULAR.	72
TABLA 12. COEFICIENTES DEL POLINOMIO PARA LAS ECUACIONES DE PRESIÓN VS POSICIÓN DEL CÍRCULO PARA UN NIÑO REGULAR.	73
TABLA 13. COEFICIENTES DEL POLINOMIO PARA LAS ECUACIONES DE PRESIÓN VS POSICIÓN DEL CÍRCULO PARA UN NIÑO REGULAR.	75
TABLA 14. COEFICIENTES DEL POLINOMIO PARA LAS ECUACIONES DE PRESIÓN VS POSICIÓN DEL TRIÁNGULO PARA UN NIÑO REGULAR.	77
TABLA 15. COEFICIENTES DEL POLINOMIO PARA LAS ECUACIONES DE PRESIÓN VS POSICIÓN DEL CÍRCULO PARA UN NIÑO REGULAR.	79
TABLA 16. COEFICIENTES DEL POLINOMIO PARA LAS ECUACIONES DE PRESIÓN VS POSICIÓN DEL CÍRCULO PARA UN NIÑO REGULAR.	81

Dedicatoria

A mi amada esposa Adriana, a mis preciosos hijos Daniel Josue y Matias Abraham, y a mi familia por ser la luz de mi camino.

Ing. Luis Javier Serpa Andrade.

PREFACIO

Este proyecto de investigación y desarrollo presenta los resultados de la investigación en base a la implementación práctica de modelamiento matemático aplicado en el estudio del grafismo y la terapia de lenguaje en el aprendizaje de niños regulares y con discapacidad motriz. Asimismo, se enfoca el proceso de experimentación en el apoyo al terapeuta por medio de herramientas tecnológicas para la obtención de características grafológicas.

Este trabajo está modelado matemáticamente las relaciones entre presiones y el comportamiento del grafismo, se ha utilizado recursos como son el programa Java, Matlab.

Los resultados de este trabajo y los algoritmos desarrollados servirán como base para investigaciones posteriores en el campo de tecnologías de asistencia como soporte en la educación inclusiva.

PRÓLOGO

En el presente proyecto de investigación y desarrollo se presentan los resultados de la implementación de un modelo matemático del grafismo para el apoyo en el ámbito de la educación para niños con discapacidad motriz. Se propone un modelo para la interpretación de un grafo presentando la relación que existe entre las presiones que ejerce en el lápiz y el grafo.

Para el desarrollo de la experimentación fue necesario cumplir con las siguientes etapas previas.

- Obtención de una base de datos de los grafos realizados por niños regulares y con discapacidad motriz
- Programar algoritmos para la recolección de descriptores tomados del lápiz con sensores
- Implementación de *scripts* que reflejen el resultado propuesto

Finalmente, se presentan los resultados obtenidos a través de las relaciones existentes entre las presiones de los sensores y la posición del grafo.

Agradecimientos

A todos mis seres amados, mi familia por la paciencia y el apoyo durante toda mi formación para la maestría, a mi amigo y director de tesis Dr. Vladimir Robles Bykbaev a los colegas de estudio Julio Verdugo, Luis González, al joven Isaac Ojeda, a los profesionales y directivos de la escuela San Juan de Jerusalén, por su acogida y ayuda en la ejecución de este trabajo que ha sido realizado y continuara realizándose para apoyo en la educación de los niños, a la Universidad Politécnica Salesiana por su apoyo continuo a la investigación, a mis amigos del grupo de investigación GI-IATa y la Catedra UNESCO por acogerme como su compañero, muchas gracias a todos.

Un sistema de apoyo, un dispositivo, un programa, no es más que el reflejo de la dedicación de las personas que queremos una educación sin limitaciones.

Luis Javier Serpa Andrade.

CAPÍTULO 1

1. ESTUDIO PRELIMINAR Y ESTADO DE ARTE DE LAS TÉCNICAS DE RECONOCIMIENTO GRAFOLÓGICO

En este capítulo, se lleva a cabo una investigación sobre nociones indispensables para el desarrollo del sistema propuesto, considerando conceptos relacionados a la espasticidad, la parálisis cerebral y sus características. Así mismo, se presenta un estudio sobre el concepto de la terapia de lenguaje en el contexto del aprendizaje en niños, realizando una puntualización en los sistemas que se utilizan como herramientas de apoyo en la educación. Al tener ya el concepto explicado de la espasticidad, en la tercera parte del capítulo se describe cómo se puede determinar el nivel de espasticidad, los diversos tipos de terapias (fisiológicas, farmacológicas, invasivas, etc.), presentando la metodología y algunos resultados de investigaciones del tema. Por último, se realiza una introducción a la grafología como herramienta para el apoyo en el aprendizaje de los niños con déficit motor en cuanto a la aplicación de redes neuronales, SVC (Súper Vector Machine) y sistemas para el análisis de la escritura.

1.1. Espasticidad en niños: una breve revisión de su realidad

La espasticidad en niños se da por la presencia de la parálisis cerebral y en adultos como consecuencia de traumatismos craneoencefálicos, ictus, lesión medular, etc. Los principales problemas debidos a la espasticidad en niños son los trastornos del desarrollo en la infancia y las posturas anormales que afectan la calidad de vida del paciente y de su entorno social.

La espasticidad es definida como, “Un trastorno motor caracterizado por incremento de los reflejos tónicos con aumento del tono muscular, velocidad dependiente en la resistencia al estiramiento pasivo” (Rodríguez Mutuberría, Serra valdex, & others, 2004). Por otra parte, otro concepto de la espasticidad enuncia “La espasticidad es definida como una hiperactividad del arco reflejo miotático, siendo la consecuencia de una lesión del haz piramidal sea cual sea la topología (Corteza cerebral, cápsula interna, tronco del encéfalo o médula)” (García Diez, 2004). Comúnmente, la espasticidad está asociada a una variedad de cuadros neurológicos como son; la parálisis cerebral, la esclerosis múltiple, la lesión de médula espinal como consecuencia de un accidente cerebrovascular, el síndrome de la motoneurona superior, entre otros. La espasticidad provoca los síndromes de rigidez en los que queda conservada la acción de control del neostriado y del cerebelo (Esquenazi, Albanese, & others, 2013).

En el trabajo de (Monica & Lillo, 2014), la parálisis cerebral se define como el “grupo de trastornos del desarrollo del movimiento y la postura, que causan limitación en la actividad, atribuidos a una lesión no progresiva en el cerebro en desarrollo en el periodo fetal o durante la infancia. El trastorno motor se acompaña con frecuencia, de alteraciones de la sensibilidad, cognición, comunicación, percepción, comportamiento y/o epilepsia”, todas estas alteraciones limitan al niño en su desarrollo social.

Los niños con parálisis cerebral (PC) presentan déficits motores variables, incluyendo impedimentos neuromotores y patrones de marcha patológicos, así como la retracción muscular que reduce la movilidad, flexión en los codos, muñeca, dedos a nivel articular, aspecto que produce deformaciones ortopédicas, dolor e incluso luxaciones. De igual forma, se pueden presentar deformaciones de la piel, aumento de zonas de apoyo con el consiguiente riesgo de formación de escaras (Campenhout, Bar-On, & others., 2014), (García Diez, 2004).

Según algunos estudios, el 80% de los casos de parálisis cerebral presentan espasticidad, que es un síntoma que se desarrolla gradualmente y persiste después de modo indefinido. La base patógena es la pérdida o la desestructuración de los mecanismos de control supraespinal (espinas irritativas), que regulan los mecanismos espinales y sus correspondientes arcos reflejos. Se pueden presentar también deformidades osteoarticulares interfiriendo con las actividades musculares voluntarias, complica la higiene diaria y la movilidad, lo cual afecta la calidad de vida de la persona (Rodríguez Mutuberría, Serra valdex, & others, 2004), (Rozina, Peden-McAlpine, & others, 2016), (Monica & Lillo, 2014).

El tono muscular “es un estado de tensión permanente de los músculos, de origen esencialmente reflejo, variable. Su misión fundamental es el ajuste de las posturas locales y de la actividad general” (Vidal & Tur, 2010)

Luego de revisar los conceptos de espasticidad, Parálisis Cerebral y tono muscular, se presenta en la Figura 1 la evolución de la espasticidad y se identifican sus fases (Vivancos-Matekkabi, Pascual-Pascual, & Nardi-Villardaga, 2007):

- *Fase de espasticidad*, aumento del tono muscular, reflejo muscular de estiramiento.
- *Fase de actitud viciosa*, desequilibrio muscular, flexores planares de aductores de la cadera de codo muñeca y dedos en las extremidades superior
- *Fase de retracción muscular*, por la fase de actitud viciosa se produce un crecimiento desigual entre grupos musculares agonistas y antagonistas.
- *Fase de deformación osteoarticulares*, en el caso de los niños en fase de crecimiento, consecutivamente a todas las fases anteriores, se modifican las presiones y los estímulos de tracción del cartílago de crecimiento, dando lugar a las deformaciones osteoarticulares.

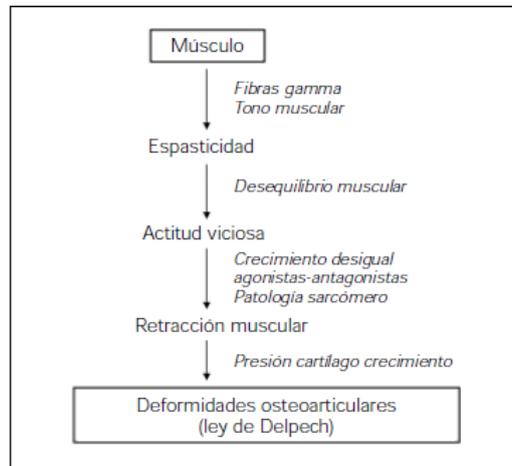


Figura 1. Evolución de la espasticidad (Vivancos-Matekkabi, Pascual-Pascual, & Nardi-Vilardaga, 2007)

En esta línea, es importante considerar no sólo el aumento del tono o rigidez, sino también la presencia de espasmos y clonus que se producen e la espasticidad (Stevenson & Playford, 2016):

- *Aumento del tono muscular:* la fisiopatología de la espasticidad es compleja, pero incluye una respuesta mejorada y prolongada al estiramiento muscular, una disminución de la modulación dependiente de la fase y la fase de los reflejos de estiramiento debido a una reducción de la inhibición de la médula espinal, control y cambios intrínsecos en la neurona motora. Por lo tanto, se producen potenciales tipo meseta anormalmente largos que prolongan las descargas de neuronas motoras, lo que, cuando se combina con un control reducido inhibitorio de la médula espinal, significa que una vez desencadenada la contracción muscular puede continuar relativamente sin disminuir.
- *Clonus:* se trata de un patrón rítmico de contracción que se produce a una velocidad de varias veces por segundo, causada por el estiramiento alternativo y la descarga de los husos musculares. Si la fuerza de estiramiento es sostenida, resultan en un disparo continuo del tramo fásico reflejo. Esto puede verse con las contracciones rítmicas de los músculos gastrocnemios y sóleo que se producen en respuesta a la dorsiflexión del tobillo.
- *Espasmos:* estos movimientos involuntarios repentinos (a menudo dolorosos) pueden precipitarse por estiramiento muscular, pero también pueden desencadenarse a través de una variedad de aferentes periféricos o viscerales nocivos. Los espasmos también pueden ocurrir debido a reflejos polisinápticos desinhibidos, como el reflejo de retirada del

flexor, o pueden reflejar una actividad anormal dentro de los circuitos de la médula espinal que tienen el efecto de sincronizar la descarga de las neuronas motoras que suministran múltiples músculos.

La espasticidad en los niños influye negativamente en el desarrollo músculoesquelético, ya que existen deformaciones estructurales, inhibe el control postural, limita la movilidad espontánea y altera el aprendizaje. Se da deterioro músculo esquelético porque impide el crecimiento muscular acorde al crecimiento óseo, se altera la postura y la eficiencia de movimiento, el niño se derrumba. En la Tabla 1 se presentan los efectos de la espasticidad (Vivancos-Matekkabi, Pascual-Pascual, & Nardi-Vilardaga, 2007), (Monica & Lillo, 2014).

Tabla 1. Efectos de la espasticidad (Monica & Lillo, 2014).

Freno y desorganización del movimiento	Inhibición del control motor selectivo
Alteración de la capacidad del músculo de generar fuerza suficiente	Inhibición de la relajación del músculo antagonista en la actividad (co-contracción)
Limitación del crecimiento del músculo	Compromiso de los rangos articulares
Alteración de la remodelación ósea	Inestabilidad articular
Aumento del consumo energético	Dolor
Espasmos musculares	Trastornos del sueño

El tratamiento oportuno, adecuado y efectivo de la espasticidad es imperativo para posibilitar el máximo desarrollo de las capacidades funcionales potenciales del menor e impedir el desencadenamiento progresivo de deformaciones músculo-esqueléticas y la pérdida progresiva de las capacidades funcionales (Monica & Lillo, 2014)

1.2. Introducción a la terapia de lenguaje

En este ámbito, se encontró una herramienta de predicción para la discapacidad y el aporte en niños en etapa escolar, basado en técnicas de aprendizaje de máquina. Esta herramienta permite identificar no una discapacidad de escritura por características motoras sino por características de déficit de aprendizaje. Las discapacidades de aprendizaje suelen tener tres elementos esenciales: una cláusula de discrepancia, una cláusula de exclusión y una cláusula etiológica. La cláusula de discrepancia establece que existe una disparidad significativa entre aspectos de funcionamiento específico y capacidad general; la cláusula de exclusión establece que la disparidad no se debe principalmente a problemas intelectuales, físicos, emocionales o ambientales; y la cláusula etiológica habla de la causalidad que involucra factores genéticos, bioquímicos o neurológicos. Cuando una persona muestra una gran disparidad entre las áreas de funcionamiento en las que se encuentra bien y aquellas en las que se experimenta una dificultad considerable, se describe que este niño tiene una discapacidad de aprendizaje. Una discapacidad de aprendizaje puede hacer que un niño tenga problemas para aprender y usar habilidades requeridas para leer, escribir, escuchar, hablar, razonar y hacer matemáticas. Las discapacidades de aprendizaje varían de un niño a otro. Un niño con la discapacidad de aprendizaje no puede tener el mismo tipo de problemas de aprendizaje que otro niño con discapacidad de aprendizaje. No hay una "cura" para los problemas de aprendizaje, son de por vida (David & Balakrishnan, 2010).

En el trabajo de (Robles-Bykbaev (2016)) se recogen 10 principios que se deben aplicar en el proceso de intervención logopédica para que se realice un tratamiento lo más efectivo posible (Tabla 2)

Tabla 2. Principios en la intervención Logopédica (Robles-Bykbaev, 2016)

Principio	Descripción
Úsalo y piérdelo	No ejecutar determinadas funciones del cerebro puede llevar a una degradación funcional
Úsalo y mejóralo	Emplear determinadas funciones del cerebro puede ayudar a mejorar dicha función
Especificidad	La naturaleza de la experiencia del entrenamiento dicta la naturaleza de la plasticidad
La repetición sí importa	La inducción de la plasticidad requiere una adecuada repetición: repetir para recordar – recortar para repetir

La intensidad sí importa	La inducción de la plasticidad requiere una adecuada intensidad en el entrenamiento
El tiempo sí importa	Diferentes formas de plasticidad ocurren en distintos momentos durante el entrenamiento
La relevancia sí importa	La experiencia del entrenamiento debe ser lo suficientemente relevante para inducir la plasticidad
La edad sí importa	La plasticidad inducida a través del entrenamiento ocurre de mejor manera en cerebros jóvenes
Transferencia	La plasticidad en respuesta de una experiencia de entrenamiento puede mejorar la adquisición de comportamientos similares
Interferencia	La plasticidad en respuesta de una experiencia puede interferir con la adquisición de otros comportamientos

En el trabajo presentado por Flores Celis (2015), se indica que “puede parecer entonces que el niño tiene afectada la percepción, alteración no necesariamente debida a causas orgánicas sino más bien a la falta de experiencia”, cuando se tiene deficiencia motora, se presentan también alteraciones sensoriales, de percepción, de cognición, de comunicación, de visión y de audición. De igual forma, existen problemas de habla, comportamiento, crisis epilépticas y problemas músculoesqueléticos secundarios, empiezan los problemas a temprana edad al no poder identificar figuras y objetos, lo que provoca el desasocio con el entorno social y, por lo tanto, una ruptura de su crecimiento personal.

Se destaca entonces que, en las aplicaciones de soporte para la terapia de lenguaje desarrolladas en la última década, existen limitaciones de diversa índole. Igualmente, se indica que con técnicas basadas en inteligencia artificial se podrían potencializar varias herramientas; por lo cual propone un sistema basado en generación de planes automáticos para terapia de lenguaje utilizando técnicas de minería de datos, auto-codificadores y clasificadores multietiqueta. Esta propuesta descansa sobre taxonomías de la terapia del habla y del lenguaje y los perfiles de los pacientes. Esta propuesta se denomina “Ecosistema inteligente de soporte a la Terapia del Lenguaje (SPELTA)”, y busca brindar una solución integral para pacientes y sus familiares,

médicos, logopedas y estudiantes que participan dentro de los procesos de diagnóstico e intervención logopédica (Figura 2) (Robles-Bykbaev, 2016).

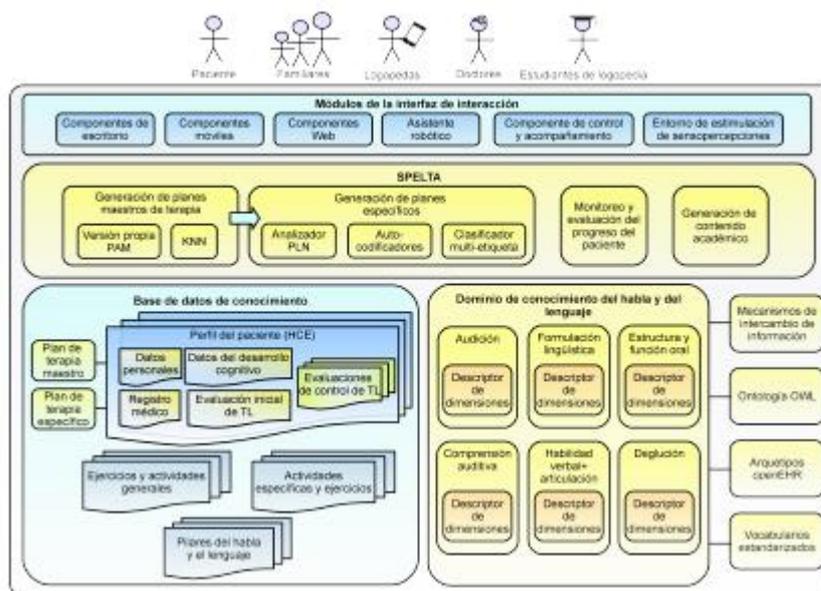


Figura 2. Arquitectura general del ecosistema SPELTA propuesto (Robles-Bykbaev, 2016).

El trabajo “Dilemas éticos en niños con enfermedades neuromusculares y dependencias tecnológicas” que fue desarrollado por Salinas y Prado (2016), describe que la tecnología que es utilizada en la ayuda social conlleva a la independencia, en el rango que se puede, de las instituciones y servicios de enfermería, en el trabajo los autores presenta la propuesta de involucrar al entorno del individuo educando y capacitando a sus familias para empoderarlos y no depender tanto de instituciones, sugieren que los avances tecnológicos requieren un cambio de paradigma en la forma en que los médicos ven y tratan a los pacientes y sus familias. (Salinas & Prado, 2016)

1.3. Terapias aplicadas a pacientes con discapacidades o trastornos asociados a la espasticidad

En el ámbito de la espasticidad, existen algunos factores que según (Rodríguez Mutuberria, Serra valdex, & others, 2004) son: las características biológicas del paciente, la naturaleza de la enfermedad, la ubicación de la lesión que puede ser cerebral o medular, el tiempo de evolución y la respuesta de cada paciente frente a múltiples modalidades terapéuticas.

La valoración y el tratamiento de la espasticidad deben hacerse desde unidades especializadas en su tratamiento con un equipo inter y multidisciplinario, complementándose como un todo para un objetivo común. En la Figura 3 se muestra la unidad especializada de tratamiento para una persona con espasticidad (Vivancos-Matekkabi, Pascual-Pascual, & Nardi-Villardaga, 2007)

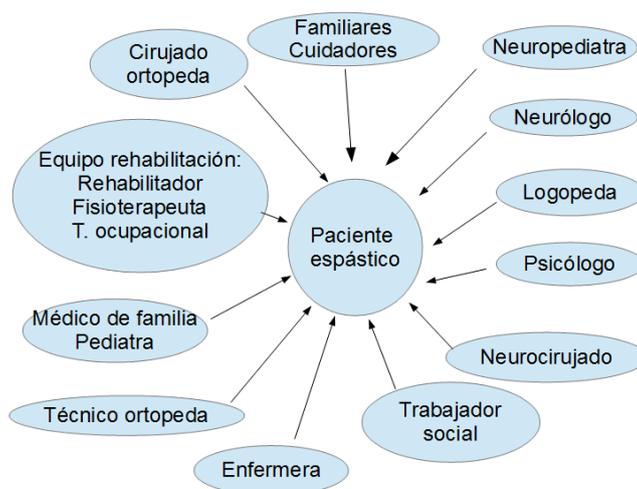


Figura 3. Unidad especializada de tratamiento para la espasticidad. (Vivancos-Matekkabi, Pascual-Pascual, & Nardi-Villardaga, 2007)

Después, para evaluar clínicamente la patología, de acuerdo a lo que se puede utilizar la escala de Ashworth Modificada, que evalúa el tono muscular, la escala Penn, que hace lo propio con los espasmos y la escala de reflejos osteotendinosos. A continuación, se presentan las características clínicas que miden cada una de las escalas mencionadas (Rodríguez Mutuberria, Serra valdex, & others, 2004):

Escala de Ashworth. Tono

Grados

- Tono normal.
- Pequeño aumento del tono. Signo de navaja.
- Marcado aumento del tono, pero la región afectada se flexiona con facilidad.
- Considerable aumento del tono. Movimientos pasivos difíciles.
- La región afecta está rígida en flexión o extensión. Imposible realizar movimientos pasivos.

Escala de Ashworth Modificada

Es de las más conocidas y eficaces; el músculo es estirado pasivamente. La importancia de la respuesta se valora entre 0 y 4:

0. No aumenta el tono muscular.
1. Resistencia mínima al final de una movilización pasiva en extensión o en flexión de un segmento de miembro.
2. Resistencia que aparece en mitad de recorrido de una movilización pasiva de un segmento de miembro.
3. Resistencia marcada durante todo el recorrido del movimiento pasivo.
4. Contractura permanente: el segmento de miembro queda prácticamente fijado.

Escala de Penn (frecuencia de espasmos)

- No hay espasmos musculares.
- Espasmos musculares moderados, inducidos por estimulación vigorosa.
- Espasmos musculares máximos infrecuentes.
- Espasmos musculares frecuentes espontáneos (1 a 10 por hora).
- Espasmos musculares frecuentes espontáneos (más de 10 por horas).

Escala de reflejos osteotendinosos

- Arreflexia.
- Hiporreflexia.
- Respuesta refleja normal.
- Hiperreflexia leve.
- Clonus (3 a 4 sacudidas).
- Clonus.

Tratamiento de la espasticidad

El objetivo del tratamiento es la reducción de espasmos, mejorar la movilidad, disminuir el dolor provocado por la hipersensibilidad de músculos, facilitar la colocación de férulas de protección o aumentar el movimiento de diversas articulaciones. En la figura 4 se presenta el algoritmo de actuación en el tratamiento de la espasticidad.

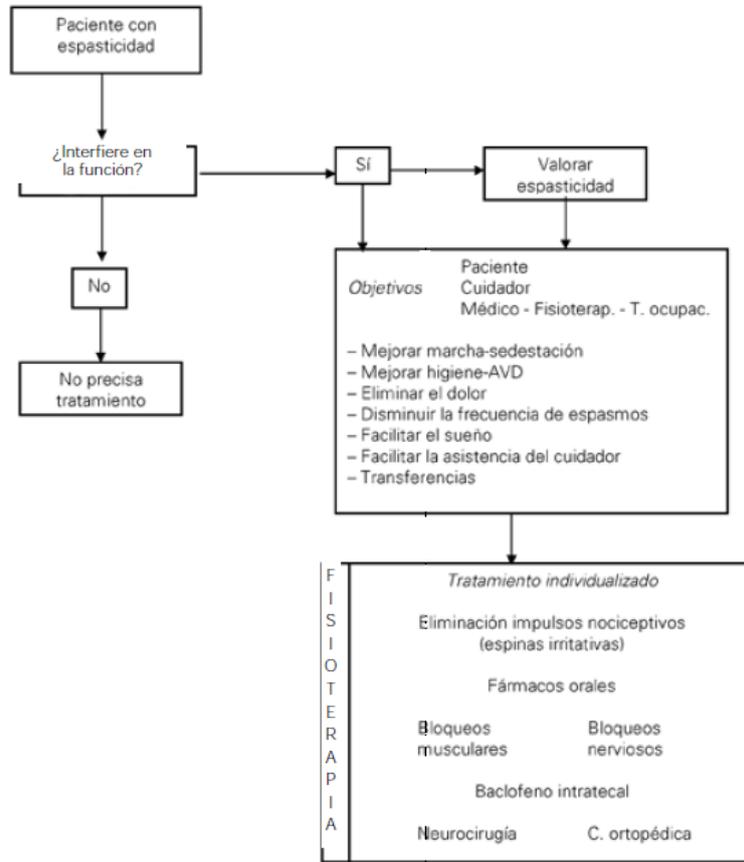


Figura 4. Algoritmo de actuación en el tratamiento de la espasticidad (Vivancos-Matekkabi, Pascual-Pascual, & Nardi-Vilardaga, 2007)

En la literatura se encuentran diversas terapias para la espasticidad, entre las cuales se pueden mencionar las siguientes:

Terapias físicas

Algunas modalidades son muy eficaces, sobre todo cuando se realizan combinadas con terapia farmacológica. (García Díez, 2004), (Rodríguez Mutuberria, Serra valdex, & others, 2004), (Vivancos-Matekkabi, Pascual-Pascual, & Nardi-Vilardaga, 2007), (Hidalgo Vaca, 2006). (Vidal & Tur, 2010)

- *Termoterapia*-. Puede utilizar infrarrojos por irradiación o por contacto con agua caliente, llamado también hidromasaje, parafango, parafina, fluidoterapia, en la cual se da electroterapia de alta frecuencia
- *Cinesiterapia*-. Para prevenir rigidez articular y deformidades ortopédicas, movilizaciones pasivas y lentas hasta grado IV del recorrido articular, estiramiento del músculo espástico.
- *Biofeedback mioeléctrico*-. Conciencia de variaciones de actividad eléctrica en el músculo utilizando electrodos de superficie
- *Posturas anti espásticas o instalación y posicionamiento*-. Patrones posturales adecuados, evitando el hipertono, manteniendo las capacidades funcionales de la articulación
- *Vibrototerapia*-. Aplicación de vibradores electrónicos que permiten determinar diferentes parámetros de tratamiento como la frecuencia, amplitud o la presión, causan contracciones musculares, inhiben las motoneuronas alfa de los músculos antagonistas.
- *Férulas órtesis*, para mantener la máxima elongación muscular
- *Electroterapia*-. Electroestimulación eléctrica funcional, de baja frecuencia o trenes de impulsos, para obtener actividad contráctil, disminuye el hipertono, mejora la perfusión y trofismos musculares
- *Masaje*-. Estimula los mecano-receptores cutáneos y conduce a una disminución del tono por inhibición moto-neural.
- *Equilibrio y marcha*-. La bipedestación tiene efectos positivos en miembros inferiores, disminuyendo el tono muscular y los espasmos, entrenamiento repetitivo del patrón de marcha con soporte parcial del peso del cuerpo.
- *Hidroterapia* -. Utiliza las características mecánicas y térmicas del agua sobre el organismo humano con fines terapéuticos.

Terapia farmacológica

En la tabla 3 se pueden apreciar los fármacos utilizados en el tratamiento de pacientes con espasticidad motriz, el mecanismo de acción, la dosis y las reacciones adversas

Tabla 3. *Fármacos utilizados en el tratamiento de pacientes con espasticidad motriz (Rodríguez Mutuberría, Serra valdex, & others, 2004)*

Fármaco	Mecanismo de acción	Dosis	Reacciones adversas

Diazepán	Interactúa con los receptores Gabaérgicos centrales	2-10 mg 3 a4 veces en el día sin exceder 60 mg/día	Sedación, letargo, confusión, debilidad, incoordinación motora, etc.
Dantroleno	Bloquea la liberación de Calcio del retículo sarcoplásmico	100-400 mg/día Comenzar a bajas dosis (25 mg 2 veces/día)	Hepatotoxicidad, debilidad, somnolencia, rash cutáneo, vértigo
Baclofén	Estimula receptores Gabaérgicos a nivel medular	120-150 mg/día. Comenzar por dosis bajas (5-10 mg/día)	Sedación, confusión, hipotensión, debilidad, depresión, convulsiones
Tizanidina	Agonista adrenérgico alfa 2 de acción central corta. Aumenta la inhibición presináptica de las motoneuronas	Hasta 36 mg/día. Comenzar con 4 mg en las noches e ir realizando ascensos cada 2 días	Hipotensión, xerostomía, bradicardia, alucinaciones visuales, hepatotoxicidad, delirios

En la descripción de la tabla 3, se indica que el fármaco baclofén (lioresal) tiene una estructura química similar a la del GABA, el compuesto químico generado por el organismo que previene la hipertensión. Después de una dosis, el baclofén comienza a relajar los músculos a las 2 horas, su efectividad máxima se alcanza a las 2 o 3 horas y, generalmente pierde parte de su efecto a las 8 horas de la ingesta. Es frecuente necesitar 3 o 4 ingestas por día. La posología suele ser progresiva y una dosis superior a 100 mg no logra reducir mucho más el nivel de espasticidad que el logrado con esta cantidad, recomendado para pacientes con lesión cerebral y medular. La tizanidina es un fármaco utilizado con cierta frecuencia, autorizado por la FDA (Food and Drug Administration) para el tratamiento por vía oral del tono muscular asociado en el control de los espasmos musculares en relación con el uso del baclofén (Rodríguez Mutuberría, Serra valdex, & others, 2004), (Kuhlen, Hoell, & others, 2016), (Stevenson & Playford, 2016).

Tratamiento con toxina botulínica

El botulismo es una enfermedad grave producida por el *Clostridium botulinum* (Cl B) y produce 8 toxinas específicas que pueden desencadenar en parálisis, lesiones graves e, incluso, la muerte en los pacientes afectados. A lo largo del siglo XX se ha intentado concentrar y purificar la toxina tipo A (BoNT-A) del Cl B. La toxina botulínica actúa mediante la inhibición de la liberación de la acetilcolina en la unión neuromuscular en la placa motora, lo cual evita la despolarización. El objetivo principal del tratamiento es mejorar la función motora, la reducción del dolor y la prevención de complicaciones, Usado en adultos y niños con condiciones neurológicas que presentan espasmos, hipertonía muscular y / o distonía (Rodríguez Mutuberría, Serra valdex, & others, 2004), (Santamato, Micello, & Ranieri, 2015), (Tapias, García-Romero, & others, 2016). Un diagrama de flujo sobre el soporte a la toma de decisiones, resume las opciones farmacológicas que se pueden encontrar ante un caso de espasticidad (figura 5).

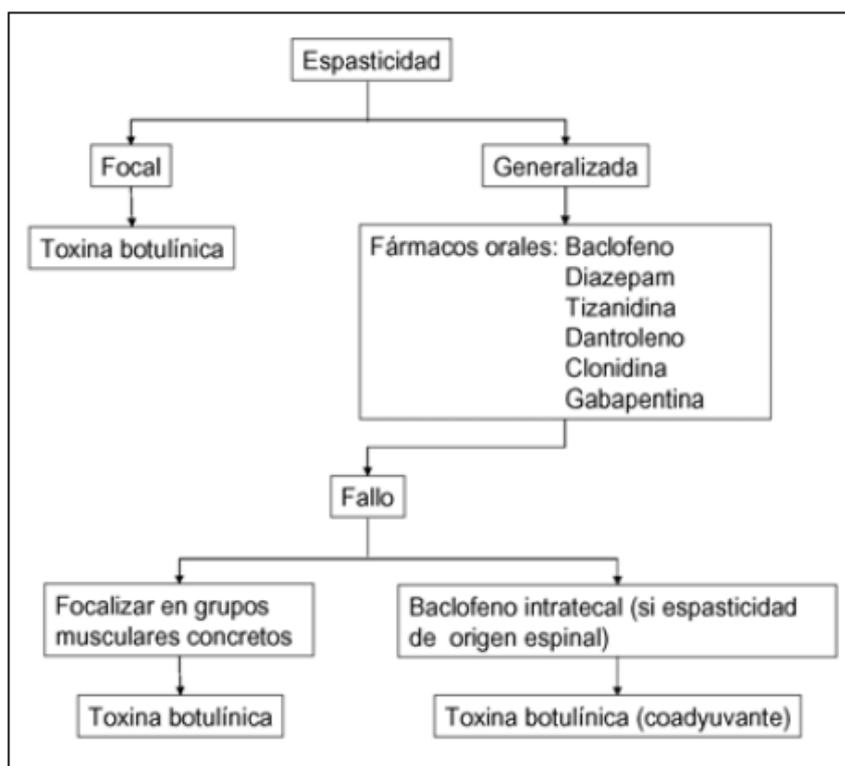


Figura 5. Opciones terapéuticas en el tratamiento farmacológico de la espasticidad (Vivancos-Matekkabi, Pascual-Pascual, & Nardi-Villardaga, 2007)

Tratamientos invasivos

Terapia alternativa

La acupuntura se utiliza para tratamiento post-ictus, así como en otras afecciones neurológicas, donde se aprecia que existen mejoras significativas en el grado de dependencia personal y la función motora del miembro afectado. De igual forma, se puede observar un incremento del rango articular, sin embargo, no existe todavía un pronunciamiento científico de la mejor alternativa, puesto que se han realizado estos estudios en pacientes sin tener una contraparte clínica, ya que no existe medición de la misma variable en un mismo número de pacientes o población muestra. (Rodríguez-Mansilla, Espejo-Antúnez, & Bustamante-Lopez, 2016)

Tratamientos quirúrgicos

Cuando ninguno de los tratamientos rehabilitador, bloqueos neuromusculares y fármacos orales es efectivo, se indica el tratamiento quirúrgico. En definitiva, estos tratamientos persiguen el objetivo de independencia motora, que es uno de los más importantes en el niño, ya que debe evitar la evolución hacia las deformidades osteoarticulares (Vivancos-Matekkabi, Pascual-Pascual, & Nardi-Villardaga, 2007)

Los procedimientos quirúrgicos se dividen en periféricos, centrales y ortopédicos. Los periféricos están constituidos por miotomías y tenotomías. No constituye una opción que por sí sola logre solucionar el problema, solo condiciona la aplicación del resto del tratamiento. En cuanto a los procedimientos centrales, se tiene la neurotomía, rizotomía, mielotomía, cordectomía y griseotomía. La cirugía ortopédica se enfoca en reequilibrar las fuerzas en torno a la articulación y corregir las deformaciones en el tratamiento de la espasticidad (Vivancos-Matekkabi, Pascual-Pascual, & Nardi-Villardaga, 2007)

Bloqueos nerviosos

Los bloqueos nerviosos constituyen otra modalidad de tratamiento local, aunque empleando tratamiento con toxina botulínica. Esta opción ha disminuido, ya que se trata de una aplicación de agentes químicos a un nervio para impedir su conducción, temporal o permanente. Los agentes empleados son el alcohol, el fenol y los anestésicos, se pretende interrumpir el arco reflejo. La duración del efecto es variable, desde meses hasta años. Se ha utilizado en pacientes con hemiplejías secundarias.

En la tabla 4 se pueden ver las indicaciones del tratamiento neuroquirúrgico de la espasticidad.

Tabla 4. Indicaciones del tratamiento neuroquirúrgico de la espasticidad (Vivancos-Matekkabi, Pascual-Pascual, & Nardi-Villardaga, 2007)

ADULTOS
Administración intrafocal de baclofeno
<ul style="list-style-type: none"> • Espasticidad difusa y grave
<ul style="list-style-type: none"> • Paraparesia/paraplejia
<ul style="list-style-type: none"> • Tetraparesia/tetraplejia
Técnicas neurolesivas
<ul style="list-style-type: none"> • Espasticidad focal grave
<ul style="list-style-type: none"> ○ Para hemi o tetraplejia
<ul style="list-style-type: none"> • Neurotomías-grupo muscular
<ul style="list-style-type: none"> • Rizectomia-extremidad
NIÑOS
<ul style="list-style-type: none"> • Administración intralocal de baclofeno: espasticidad global grave que no responde suficientemente a tratamientos antiespásticos orales o locales
<ul style="list-style-type: none"> • Rizotomia posterior
<ul style="list-style-type: none"> ○ Espasticidad global y homogénea de extremidades inferiores con test de baclofeno negativo
<ul style="list-style-type: none"> ○ Espasticidad global de extremidades inferiores con grupos musculares predominantes

○ Espasticidad focal rebelde de extremidades superiores
• Neurotomía selectiva
○ Espasticidad focal de extremidades inferiores
○ Espasticidad focal de extremidades superiores

Terapia de movimiento inducido por restricción del lado sano

Denominado también como Constrain-induced movement therapy CIMT, mediante la inmovilización de la extremidad sana, y el entrenamiento de la extremidad afectada con tareas repetitivas y específicas, se utiliza como tratamiento fisioterapéutico en pacientes que sufren una hemiparesia posterior a un ictus, el objetivo es la restauración funcional de la extremidad superior afectada. Dentro del equipo multidisciplinar de rehabilitación, el fisioterapeuta y el terapeuta ocupacional se tratan las alteraciones de la función motora y favorecen la adquisición de la máxima autonomía o independencia del paciente con daño cerebral adquirido (Díaz, Pinel, & Gueita, 2011).

Terapia robótica

El procedimiento de terapia robótica para la neurorehabilitación funcional, según Meneses y otros, tiene como objetivo la compensación y el entrenamiento de tareas específicas. Dichos autores indican que “los sistemas robóticos deben utilizar los sistemas de realidad mixta, donde los objetos sensibles de movimiento y visión artificial crean un entorno de realidad virtual que está dirigido por la manipulación de objetos reales”. Es importante también destacar que la rehabilitación se da por cambio de conectividad funcional en el área motora suplementaria, la corteza motora contralateral, ipsilateral y las partes del sistema viso-espacial, mejoras significativas del tiempo y velocidad del movimiento y un mejor índice de co-contracción para el miembro afectado se presenta después de realizar estas terapias (terapia asistida por robot y la participación voluntaria del sistema motor del miembro afectado). El sistema robótico estimula con un movimiento pasivo simultáneo de la articulación, lo que produce resultados positivos en la recuperación motora, ya que los ejercicios activos estimulan mecanismos mediáticos por factores neurotróficos cerebrales y mejoran la plasticidad neural, mediante la estimulación de la corteza somato-sensorial y los servomecanismos de control motor y el bloque de predicción biomecánica permite la anticipación a los errores que el paciente pueda llegar a cometer. Este subsistema está basado en los denominados «forward models» presentes en el cerebelo, los cuales transforman comandos motores en consecuencias sensoriales para estimar el estado del cuerpo y de

su entorno, siempre teniendo en cuenta que es un proceso multidisciplinar la rehabilitación (Meneses castaño, Peñaloza Peñaranda, & others, 2015)

1.4. Grafología aplicada a pacientes con discapacidades o trastornos asociados a la espasticidad.

El análisis de escritura o de grafología es un método científico de identificación, evaluación y comprensión de la personalidad a través de los trazos y patrones revelados por la escritura (Champa & AnadaKumar, 2010).

Los estudios lingüísticos/orales de pacientes con Parálisis Cerebral predominan correlaciones neurobiológicas con las alteraciones del lenguaje oral en tareas de comprensión como la semántica y la sintaxis en oraciones gramaticales y agramaticales, el uso de palabras en discurso y la interacción en contexto, en cuanto al estudio de la escritura, se enfoca en cambio de tamaño modificación de trazos relacionándolos con las relaciones motoras subyacentes, se ha reconocido un deterioro cognitivo asociado al proceso de aprendizaje (Rodríguez, Baquero, & others, 2011)

Para el reconocimiento de escritura se utiliza herramientas computacionales como son las redes neuronales recurrentes, este es un método dinámico que extrae las características de la imagen y las introduce en una capa de la red como se muestra en la Figura 6. En dicha red las entradas son recalculadas constantemente dependiendo de los rasgos que completan la imagen, los cuales son los pixeles utilizados para el grafo (Nishide, Okuno, Ogata, & Tani, 2011)

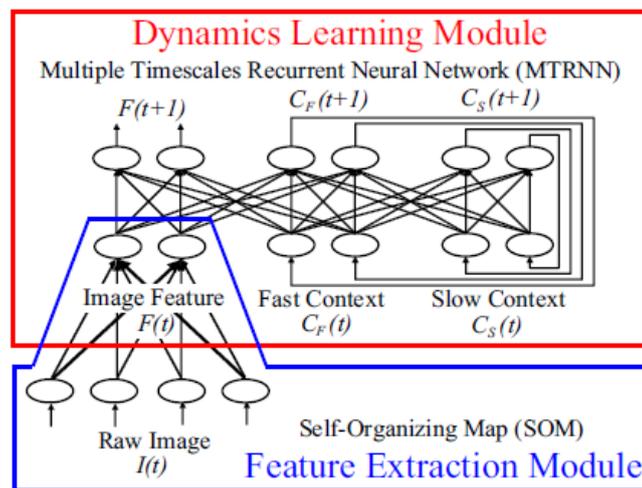


Figura 6. Modelo dinámico de una red recurrente para el reconocimiento de caracteres (Nishide, Okuno, Ogata, & Tani, 2011).

Mediante el análisis de imágenes se puede obtener las características del grafo, primero se normaliza la toma de muestras, por ejemplo, tipo de bolígrafo, tipo de hoja, tipo de fotografía; luego en la fotografía se realiza suavizado de bordes con técnicas de erosión y dilatación, se aplica luego una esqueletización al grafo, se calcula para cada punto del esqueleto la distancia de la recta perpendicular al mismo y luego se dibuja el color gris como resultado de la gráfica, como se muestra en la figura 7. (Aubin V. I., 2013).

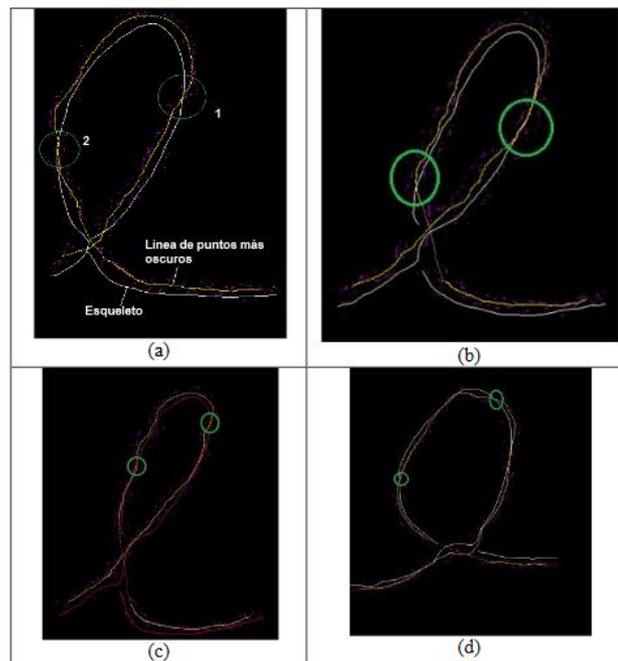


Figura 7. Proceso de adquisición y manipulación de datos de un grafo (Aubin V. I., 2013)

Otro método para la extracción de características de la escritura lo presenta Aubin (2015), en su trabajo estudia los parámetros pseudo-dinámicos de la escritura manuscrita, por medio de la medición de inclinación mide la acción neuromotriz, y reconocimiento de imágenes utilizando los rasgos biométricos de escritura (Figura 8).

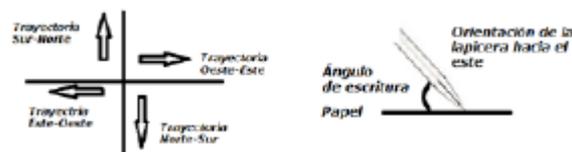


Figura 8. Variables que recolectan información de escritura (Aubin, 2015)

Se utiliza también el análisis de escritura mediante SVC usando segmentación, para ello se extrae las características principales de la escritura como son: tamaño e inclinación de las letras y palabras, línea de base, presión del lápiz, espaciado entre letras y espaciado entre palabras en un documento (figura 9). Todas estas características son introducidas para clasificar a los autores del texto (Prasad, Singh, & Sapre, 2010)

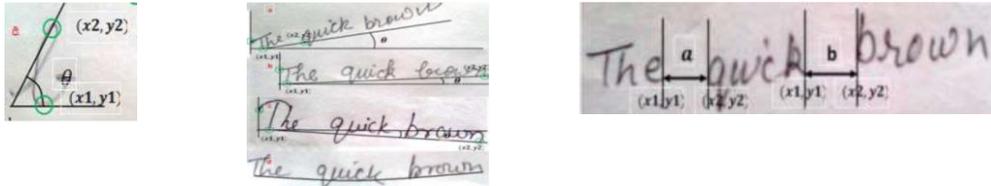


Figura 9. Secuencia para la adquisición de características y procesamiento de un grafo (Prasad, Singh, & Sapre, 2010)

El grafismo puede estudiarse para revelar la personalidad, se utiliza como características, la inclinación del trazo o grafo, la presión que se ejerce en el lápiz, los valores de luminosidad del grafo por medio de un análisis mediante redes neuronales se puede obtener la personalidad del individuo (figura 10). (Champa & AnadaKumar, 2010)

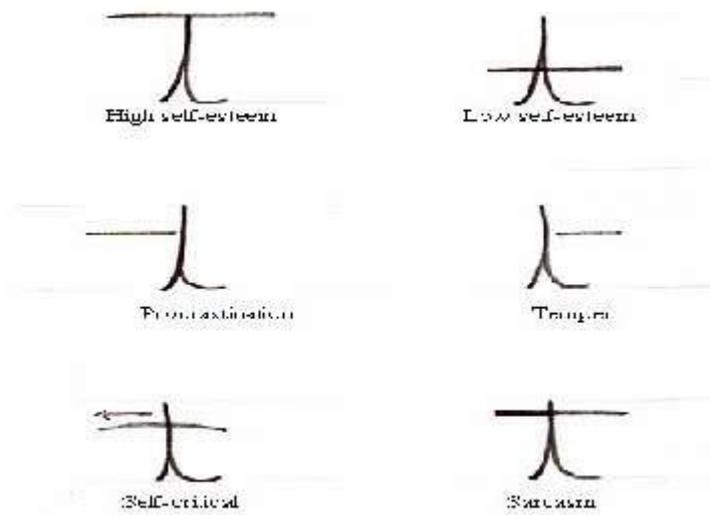


Figura 10. Entrenamiento de la escritura de la letra “t” (Champa & AnadaKumar, 2010)

Hay trabajos como el de (Iwayama & Akiyama, 2004), en donde se realiza el análisis del grafo y también se predice el símbolo, en este estudio se realiza el análisis mediante un mapeo de bits de la imagen y un proceso de reconocimiento de caracteres, el proceso es híbrido, se tiene una base de datos de los grafos, un entrenamiento previo

de los grafos con lo cual el sistema permite el aprendizaje, se comparan las características de la entrada con la base de datos y se genera el grafo que menos error de corrección obtenga(figura 11).

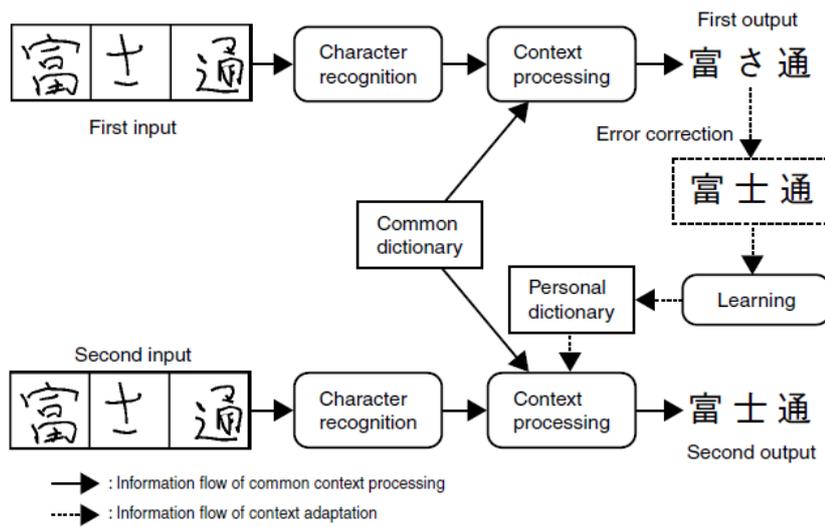


Figura 11. Modelo propuesto para el reconocimiento de caracteres (Iwayama & Akiyama, 2004)

En esta sección se ha presentado los trabajos relacionados a la extracción de características grafológicas y los métodos empleados por algunos autores para la clasificación de la escritura y predicción de la misma.

CAPÍTULO 2

2. MANEJO DE DESCRIPTORES GRAFOLÓGICOS

Partiendo de que la grafología es el arte de estudiar y analizar la escritura a mano, en este capítulo se inicia con una sección que presenta los estudios realizados para la obtención de los descriptores en dicho ámbito, luego se analizan los resultados obtenidos con las técnicas presentadas y se revisan en una segunda instancia los modelos matemáticos que contemplan los métodos y procedimientos para la obtención de datos y la clasificación de los mismos; finalmente se realiza el análisis de la implementación del modelo propuesto para la manipulación de los descriptores y los clasificadores.

Los expertos en grafología (grafólogos) afirman que un análisis de escritura a mano puede proporcionar información sobre: fortalezas y debilidades de su carácter, el comportamiento humano en una situación dada y la condición de salud mental.

2.1. Etapas de pre y post-procesamiento de datos

En el presente apartado se estudian los métodos de pre y post-procesamiento de datos de diversos autores que utilizan a la grafología como herramienta para el reconocimiento de caracteres escritos

Utilizando una base de datos MSHD y QUWY los autores (Younes Akbari, Kazem Nouri, Javad Sadri, Chawki Djeddi, & Imran Siddiqi, 2017) , proponen como método de predicción a las herramientas como son: los autómatas probabilísticos de estados finitos y las wavelets, luego para clasificar las características utilizan RNA, SVC, WDLBP (wavelet domain local binary patterns), características de curvatura, dimensión fractal, auto-regresivo, descriptores de Fourier, modelado gauseano, el objetivo fundamental es la clasificación de un escrito masculino o femenino según sus características (figura 12).

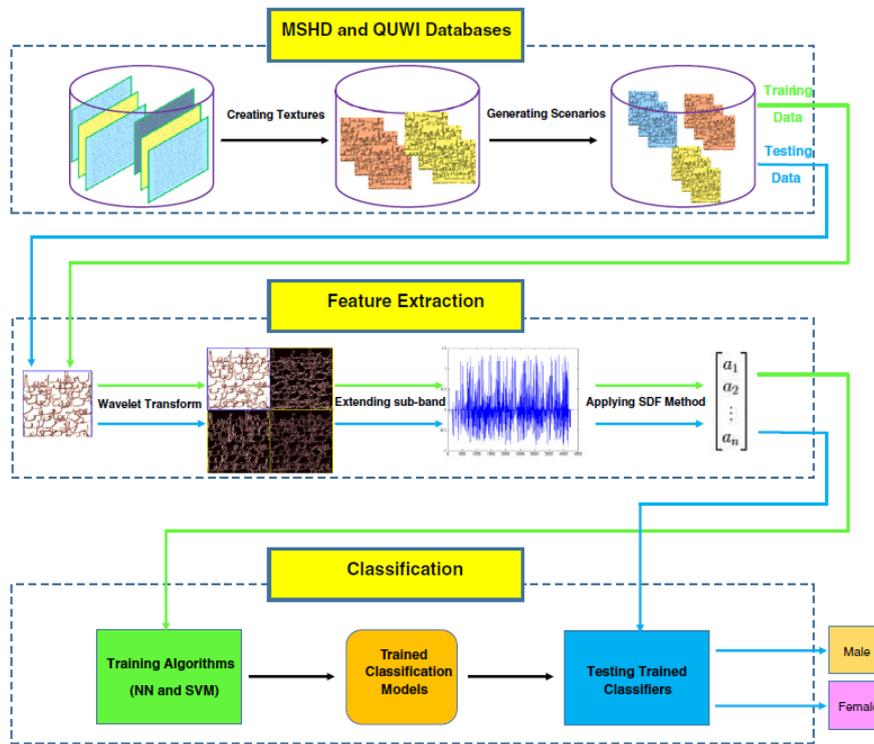


Figura 12. Propuesta de la predicción del genero a partir del estudio de grafología (Younes Akbari, Kazem Nouri, Javad Sadri, Chawki Djeddi, & Imran Siddiqi, 2017)

. Otro modelo de recolección de datos es presentado por (Murat Topaloglu & Seher Ekmekci, 2017), identifica características como: presión, bordes y espacios; dimensiones y líneas de base e inclinación; en la que se utiliza la minería de datos y se realizan estudios predictivos y descriptivos empleando los algoritmos ID3 y C5.0 (J48). Estos algoritmos permiten crear árboles de decisión basados en la entropía, C5.0 poda los árboles con información innecesaria y se emplean atributos nominales y relación de recuperación. Con el fin de evitar el aprendizaje excesivo se utiliza la relación de recuperación, lo que hace posible la formación de árboles de decisión para las cualidades con valores numéricos, mientras que el algoritmo ID3 clasifica cualidades categóricas (atributos numéricos). El estudio se lo realiza por medio de disposición geométrica, mediante el uso de filtros Gabor y XGabor, creando FRGs (gráficas de relación de características), para la extracción de rasgos se utiliza la lógica que como objetivo general el sistema detecta el sentimiento de la persona (figura 13).

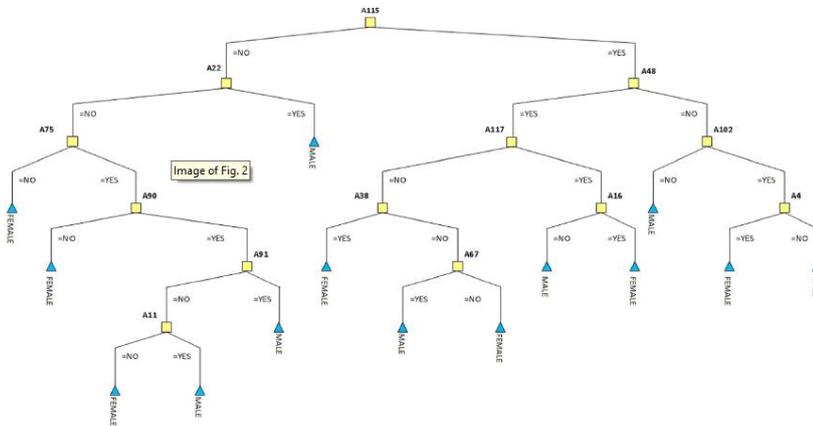


Figura 13. Propuesta para la predicción (Murat Topaloglu & Seher Ekmekci, 2017)

Con otro enfoque se presenta el sistema francés su objetivo es analizar el comportamiento y la personalidad del escritor, esta propuesta también llamada atomistic o el método aislado del rasgo, consisten en dividir la escritura a mano en sus varios componentes y examinarla por separado. El enfoque alemán, también llamado acercamiento holístico o gestual, juzga la escritura a mano como un todo donde un elemento aislado no significa nada fuera del contexto del cuadro completo. Cada símbolo de una muestra de escritura manuscrita se interpreta como un rasgo de personalidad, cada aspecto de una muestra se trata desde la disposición del texto hasta cada letra escrita. Aunque los grafólogos pueden diferir en sus opiniones e interpretaciones de los criterios, hay algunos en común (figura 14) (Shweta Hegade, Gargee Hiray, Prajka Mali, & Prof. Punam Raskar, 2015)

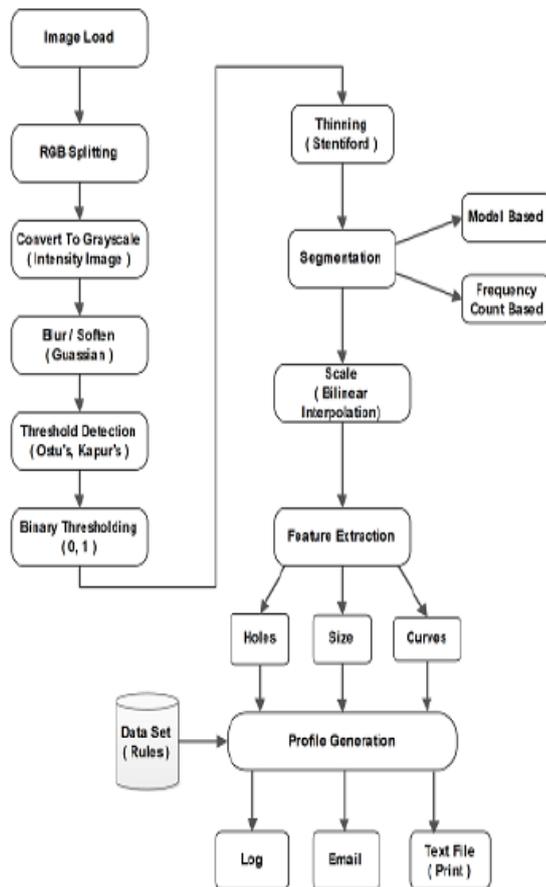


Figura 14. Sistema FODEX (Shweta Hegade, Gargee Hiray, Prajta Mali, & Prof. Punam Raskar, 2015)

El sistema propuesto FODEX se centra en el desarrollo de una herramienta para el análisis conductual que puede predecir los rasgos de personalidad automáticamente con la ayuda de una computadora. El sistema está diseñado para analizar imágenes de documentos manuscritos. Las imágenes se convierten en imágenes binarias de píxeles en blanco y negro. Es difícil para el programa identificar diferentes letras, palabras y líneas por análisis de píxeles sin intervención humana. Por lo tanto, el proceso de decisión humano, guía al sistema para lograr una mayor precisión, siendo el objetivo crear software que permita al usuario analizar muestras manuscritas, para hacer el proceso más rápido y más objetivo (Shweta Hegade, Gargee Hiray, Prajta Mali, & Prof. Punam Raskar, 2015).

En la propuesta en el trabajo de (Behnam Fallah & Hassan Khotanlou, 2015) que se presenta en la figura 15, se puede identificar la personalidad mediante el análisis

grafológico, que lo realiza por medio de procesamiento de imágenes con técnicas de reconocimiento de patrones. Esta investigación describe un sistema de auto-correlación local de orden alto como una característica dependiente del texto (HLAC), luego se utiliza el GDA, que es el resultado de la extensión no lineal del análisis discriminante lineal y se puede utilizar para superar problemas de clasificación, combinando funciones y aumentando la resolución de las clases.

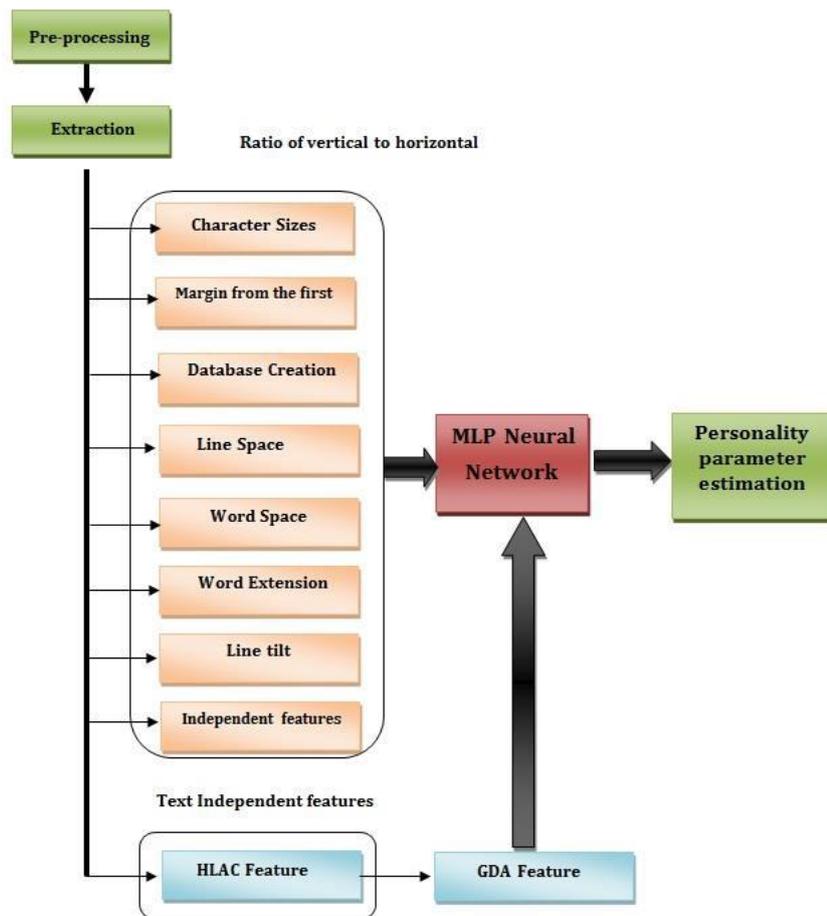


Figura 15. Sistema propuesto de reconocimiento de características grafológicas (Behnam Fallah & Hassan Khotanlou, 2015)

Para ello, el sistema propuesto de reconocimiento de la personalidad consta de dos etapas principales: entrenamiento y prueba. En la etapa de entrenamiento, después de extraer las características de todos los patrones de la imagen de texto de entrada, la salida correspondiente se crea usando una prueba de personalidad MMPI, estas entradas-salidas son entrenadas como un patrón en una red neuronal y finalmente se

crea una base de datos completa como resultado del entrenamiento. En la etapa de prueba esta base de datos se utiliza como referencia de comparación principal. Después de la extracción de características, la imagen de texto de entrada se compara con todos los patrones de la base de datos para encontrar la imagen más cercana. Finalmente, la salida de la prueba de personalidad MMPI correspondiente a la imagen de texto seleccionada se introduce como parámetro de personalidad de salida (Behnam Fallah & Hassan Khotanlou, 2015)

En el trabajo de (Dian Pratiwi, Gatot Budi Santoso, & Piqih Hana Saputri, 2017), se plantea un análisis para la aplicación de técnicas de grafología en la determinación de la personalidad, considerando la forma de la escritura. Con este objetivo, los autores proponen emplear un sistema de procesamiento de datos, extracción de características, formación de clúster y el reconocimiento de patrones dominantes en el cual entra el análisis grafológico

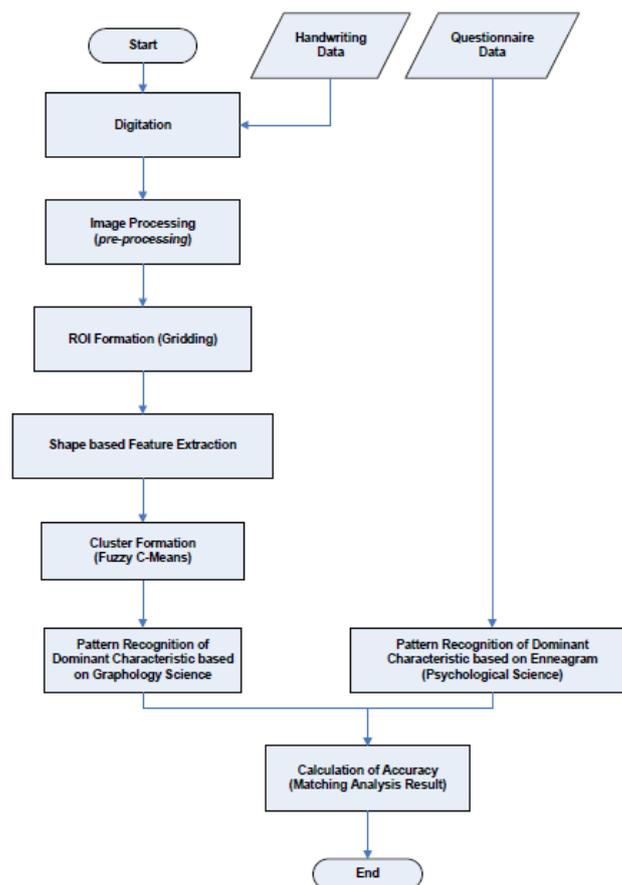


Figura 16. Sistema propuesto para la extracción de características (Dian Pratiwi, Gatot Budi Santoso, & Piqih Hana Saputri, 2017)

Como se puede apreciar en el diagrama de la figura 16, se propone un sistema de pre-procesamiento mediante la conversión de la imagen a escala de grises y luego a la umbralización de la misma, para captar la región de interés y realizar el análisis de la extracción de características de color, forma y textura. Las características que se extraen se basan en la representación de la forma manuscrita, luego se utiliza un método de agrupación llamado Fuzzy C-Means, que por medio de distancias mínimas reúne las características similares y las clasifica. (Dian Pratiwi, Gatot Budi Santoso, & Piqih Hana Saputri, 2017).

En la tabla 5 se presentan algunos sistemas propuestos, así como la información de la descripción analítica de escritura de acuerdo a los métodos utilizados y técnicas de análisis de cada autor o sistema.

Tabla 5. Resumen de sistemas de análisis de escritura. (Shweta Hegade, Gargee Hiray, Prajka Mali, & Prof. Punam Raskar, 2015), (Murat Topaloglu & Seher Ekmekci, 2017)

Nombre del sistema o autor	Descripción análisis de escritura
Enfoque basado en la textura para la identificación de escritores de imágenes sin conexión de escritura a mano	Descriptores de textura incluyendo histogramas de patrones binarios locales (LBP), patrones locales ternales (LTP) y cuantificación de fase local (LPQ)
Función de Densidad de Probabilidad (PDF).	Detector de Puntos de Interés de Diferencia de Gauss (DOG)
Característica de 64 dimensiones	Las imágenes de gradiente de escritura a mano se analizaron para la extracción de características
Reconocimiento de caracteres numéricos manuscritos y caracteres de tinta magnética	Técnicas de Grafología y Gráficoscopia, y el análisis Paraconsistent Artificial Neural Networks.

Oriented Basic Image Feature Las columnas (oBIFColumns) se usaron para la identificación del escritor	La codificación Delta
Un enfoque de identificación de escritor fuera de línea basado en características grafométricas y forenses.	Grafología y técnicas forenses
Se utilizó una combinación de funciones de nivel de línea y nivel de palabra.	Algoritmos ALVOT con un esquema de ponderación diferenciada
Dimensión Fractal de la Firma	Dimensión Fractal de la Firma
Gabor & XGabor Filter	FRG (gráfico de relación de características)
Uso de la grafología en el reclutamiento	Los datos de la encuesta se analizan para la investigación estadística
Identificar la emoción de un escritor	Técnicas Fuzzy
Un sistema para la grafología de escritura a mano	Identificación del escritor sin conexión
Manuscrito de escritura a mano de la Universidad Asistente.	Sistema de análisis de escritura a mano basado en web. El sistema consta de 9 características de escritura a mano. Cada característica consiste en una o más preguntas. Plataforma independiente. Es gratis. Tipo de informe basado en texto.
Analizador de escritura a mano de Sheila Lowe	Sistema autónomo que aplica Gestalt o concepto de grafología holística. Se deben completar al menos 10 categorías de características de

	escritura a mano para generar un informe. Se ejecuta en Windows. Software de pago Gráfico basado en texto, gráfico, gráfico de barras y gráfico circular.
Centro de Excelencia para el Análisis y Reconocimiento de Documentos CEDAR FOX	Examinador de documentos cuestionado para pasar por pasos de procesamiento como extraer regiones de interés de un documento escaneado, determinar líneas y palabras de texto, reconocer elementos textuales. Compara dos muestras de escritura para determinar la razón log-verosimilitud bajo las hipótesis de acusación y defensa. El software, que está protegido por una patente de los Estados Unidos, puede ser licenciado por Cedartech, Inc.

2.2. Modelo matemático de los métodos para obtener los descriptores y clasificado-res

En esta sección se da a conocer el modelo matemático que se utiliza en algunos trabajos para la obtención de características en grafología, así como métodos para la clasificación, que se mencionaron en la sección anterior.

2.2.1. Transformada Wavelet

La base de wavelets da como resultado una poderosa representación de información que se localiza simultáneamente en dominios de tiempo y frecuencia. Esto contrasta con la representación de Fourier en la que no es posible asociar frecuencias específicas a intervalos de tiempo específicos. Las wavelets son especialmente potentes cuando se trata de análisis de señales e imágenes con discontinuidades y puntas afiladas. Las aplicaciones típicas de las wavelets en el procesamiento de señales incluyen la compresión de imágenes, la eliminación de imágenes, el reconocimiento de voz, EEG, EMG y análisis ECG, etc. Una función integrable $x \in L^2(\mathbb{R})$ se considera una función wavelet si satisface la condición de momento cero (Younes Akbari, Kazem Nouri, Javad Sadri, Chawki Djeddi, & Imran Siddiqi, 2017).

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi(t) dt = 0, \quad t \in R$$

La condición de momento cero es válida cuando satisface la siguiente condición de admisibilidad que se necesita para obtener la inversa de la transformada wavelet

$$C_{\psi} = 2\pi \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|\widehat{\psi(\xi)}|^2}{|\xi|} d\xi < \infty, \quad t \in R$$

La transformada de onda continua (CWT) de una función $f \in L^2(R)$ se define como

$$W_{\psi} f(\mu, s) = \langle f, \psi_{\mu, s} \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi_{\mu, s}^* dt, \quad t \in R$$

Donde $x(u, s)(t) = |s|^{-1/2} \psi((t-u)/s)$, con $u, s \in R, s \neq 0$. u, s varían continuamente sobre R y se denominan como parámetro de dilatación y parámetro de traducción, respectivamente. ψ se llama wavelet madre y el $x(u, s)$ se llaman wavelets. Las wavelets $x(u, s)$ cubren rangos de frecuencias diferentes cuando s cambia

2.2.2. Filtros dinámicos simbólicos (SDF)

Es un método para la extracción de características, cuyas funciones están basadas en los siguientes procesos (Younes Akbari, Kazem Nouri, Javad Sadri, Chawki Djeddi, & Imran Siddiqi, 2017):

Simbolización y cuantificación de datos- Se procede a la cuantificación de las características de datos y luego para simbolizar se realiza un número finito de células asignándoles con una etiqueta única y simbólica cubriendo todo el perfil de datos completo, las regiones son excluyentes mutuamente. Para la partición de los datos se tiene como estrategias la partición uniforme y la partición por máxima entropía, es decir, en el primer caso se realiza con celdas de igual tamaño, mientras que en otro se intenta maximizar la entropía de los símbolos generados, asegurando que cada célula tenga un mismo número de puntos de datos. En consecuencia, el tamaño de la celda es pequeño en regiones ricas en información y grande en regiones escasas.

Generación de autómatas probabilísticos de estados finitos (PFSA)- La construcción de autómatas probabilísticos de estados finitos (PFSA) se basa en el supuesto de que el proceso de generación de símbolos que puede ser modelado como una cadena de Markov, denominada como la máquina de DMarkov. Una cadena de Markov de orden D es un proceso estocástico en el que la probabilidad de ocurrencia de un símbolo es una función de símbolos D anteriores

$$P(s_i | s_{i-1}, s_{i-2}, \dots, s_{i-D}, \dots) = P(s_i | s_{i-1}, \dots, s_{i-D})$$

Los estados en PFSA representan combinaciones de palabras en la secuencia de símbolos mientras que los bordes corresponden a la transición entre estados diferentes. En nuestro trabajo, tomamos $D = 1$, por lo tanto, el número de estados es el mismo que el número de símbolos en el alfabeto. El conjunto de estados posibles se da por $S = \{s_1, s_2, \dots, s_N\}$, siendo N el número total de estados. La probabilidad de transición del estado s_i al estado s_j puede definirse como sigue:

$$P(s_j | s_i) = \frac{N(s_i, s_j)}{\sum_{k=1,2,\dots,N} N(s_i, s_k)}, \forall s_i, s_j \in S$$

Donde $N(s_i, s_j)$ es el número total de eventos cuando s_j aparece adyacente a s_i aparece. Una vez estimadas todas las probabilidades de transición $P(s_j | s_i)$, $\forall s_j, s_i \in S$, se recogen la matriz de transición del estado $N \times N$.

2.2.3. Autocorrelación

La función de autocorrelación se conoce como función de desplazamiento insensible. La función de autocorrelación de orden N es definida por N cambios de posición ($a_1, a_2, a_3, \dots, a_N$), del punto de referencia r como ecuación (Behnam Fallah & Hassan Khotanlou, 2015).

$$x^N(a_1, a_2, a_3, \dots, a_N) = \int I(r + a_1) \dots I(r + a_N) dr$$

Donde, $I(r)$ es la imagen de texto y $r = z = (\log(p), P)$. Hay muchas funciones de autocorrelación, que son resultado de diferentes combinaciones de cambios de ubicación en la imagen de texto. La figura 17 presenta diferentes máscaras con patrones de cambio de localización obtenidos por la función de autocorrelación. El valor de N está limitado a 3 ($N = 0, 1, 2, 3$), además, la relación de los cambios de localización y los desplazamientos están limitados en una ventana de 3×3 posiciones. Con el fin de obtener los valores de HLAC, la imagen de texto es primero escaneada por máscaras de 3×3 . La suma de la multiplicación de los correspondientes valores de píxeles por uno (píxeles de máscara negra) se calcula entonces para cada máscara. Este método se conoce como función HLAC

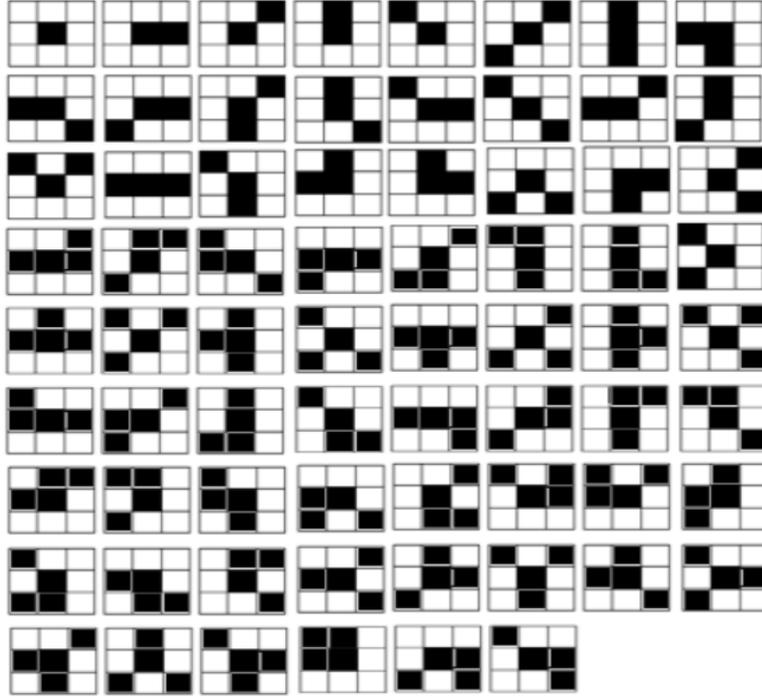


Figura 17. Mascaras de imágenes 3x3 utilizadas en el método de probabilidad (Behnam Fallah & Hassan Khotanlou, 2015)

2.2.4. Formación de clúster

La formación de clúster pretende clasificar las características extraídas de un corpus determinado. El método utilizado es Fuzzy C-Means, desarrollo de Hard K-Means, donde el centroide (centro de clúster) es determinado a partir de la adquisición de valores de membresía este busca repetidamente con una distancia mínima. Fuzzy C-means se puede utilizar para la segmentación de imágenes, simplificando así el proceso de diagnóstico (Dian Pratiwi, Gatot Budi Santoso, & Piqih Hana Saputri, 2017). La fórmula de Fuzzy C-Means es la siguiente:

$$J_m = \sum_{k=1}^c \sum_{i=1}^N u_{ki}^m \|x_i - v_k\|^2$$

$$u_{ki} = \frac{1}{\sum_{i=1}^c \left(\frac{\|x_i - v_k\|}{\|x_i - v_i\|} \right)^{2/(m-1)}}$$

$$v_k = \frac{\sum_{i=1}^N u_{ki}^m x_i}{\sum_{i=1}^N u_{ki}^m}$$

En donde X_i es la imagen de manuscrita a i con un total de N vectores de características, V_k es el centro de agrupamiento (centroide) a k de la clase c total, y J es la distancia obtenida cuantitativamente. Para inicializar el inicio, el centro del grupo (V) se seleccionará aleatoriamente de la imagen total de la escritura manuscrita utilizada. Mientras u es el valor del vector de entidad de k centro de agrupación hasta un total de m clúster centro.

Su estudio utilizó también las medidas de similitud de la técnica para reconocer patrones manuscritos calculando la distancia entre los patrones usando la distancia euclidiana

$$d(p, q) = d(q, p) = \sqrt{(q_1 - p_1)^2 + (q_2 - p_2)^2 + \dots + \sqrt{\sum_{i=1}^n (q_i - p_i)^2}}$$

2.3. Análisis de la implementación del modelo propuesto

Como se ha visto hasta el momento con el estudio del estado del arte, los trabajos realizados se enfocan en el reconocimiento de escritura para identificar características, la propuesta de este trabajo es la implementación de una herramienta que permita reconocer las características de un grafo, e implementarla como un modelo matemático, esta etapa sirve para implementar estas características en un sistema de predicción de escritura, se presenta a continuación la propuesta del sistema.

El objetivo de la propuesta es obtener los datos que permitan reconocer e interpretar la escritura de personas con espasticidad, por lo que se presenta el sistema en forma global como se muestra en la figura 18, de la siguiente manera

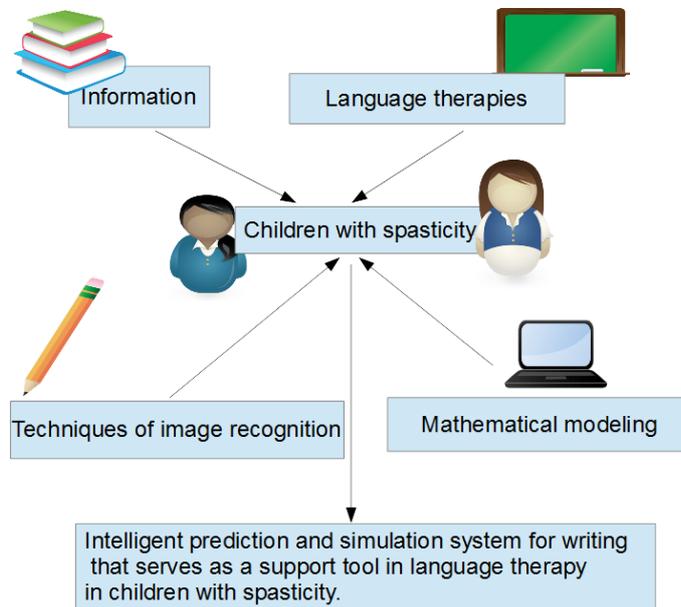


Figura 18. Sistema inteligente propuesto en forma global

El sistema inteligente de predicción y simulación de escritura como herramienta de soporte a la terapia de lenguaje tiene como insumos la información, la terapias de lenguaje aplicadas a los niños con espasticidad, con ello utilizando técnicas de reconocimiento de imágenes y recolección de datos se propone un modelo matemático, como se muestra en la figura 19, el modelo matemático obtiene sus características de las posiciones y ángulos de un instrumento que va servir como herramienta para recolección de datos, con lo cual se propone una función, para luego realizar una predicción de palabras utilizando técnicas de Machine Learning.

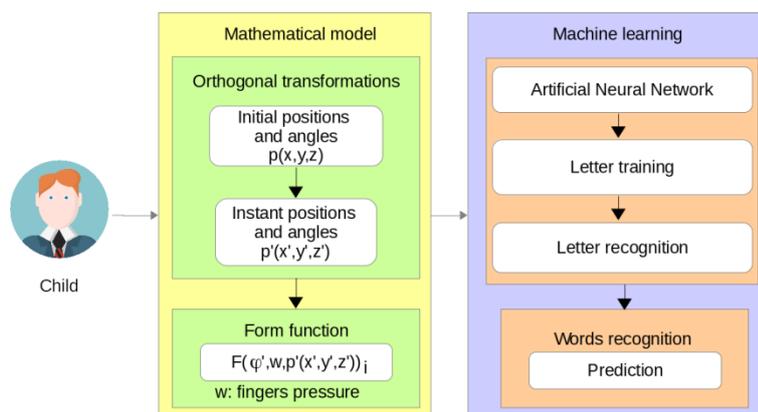


Figura 19. Modelo de extracción de características

El diagrama presentado se enfoca en la recolección de datos que provienen de la posición y la presión. Para la recolección de datos, se utiliza un lápiz que nos permite obtener datos como la velocidad, presión, ángulo de inclinación, el mismo que por medio de una conexión inalámbrica trasmite los datos a un pc para el procesamiento de los mismos. En el siguiente capítulo se especifica la forma de recolección de datos y se presenta el modelo matemático utilizado para construir el sistema inteligente propuesto

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO DE LA PROPUESTA Y CONSTRUCCIÓN DEL CORPUS GRAFOLÓGICO

El diseño de la metodología propuesta para el análisis de los grafos se va implementar en base a las características del corpus, el cual se ha tomado de la escritura de niños regulares, con espasticidad y atetosis.

Los insumos que se han utilizado para la recolección de datos es el lápiz electrónico desarrollado como tesis de pregrado con el título “Diseño y construcción de un lápiz para medir la ansiedad”, el cual fue analizado con la ayuda del trabajo de maestría intitulado “Modelado matemático y simulación numérica de un lápiz para el diagnóstico presuntivo grafológico” y las publicaciones que han sido resultado de la investigación en este campo, estos trabajos sustentan el uso del lápiz para toma de datos de presión que serán evaluados en conjunto con la posición de referencia tomada desde un computador con pantalla táctil, para luego procesar estos datos y obtener un modelamiento con respecto a presiones y posiciones, efectuando algunas técnicas de terapia de lenguaje en niños regulares y con discapacidad motriz.

En primera instancia se explica el algoritmo que se está implementando como sistema para la obtención de datos del modelamiento del sistema, en un segundo punto se presenta el sustento matemático que implica la toma de datos de los sensores de presión y se explica la implementación del software para la obtención de posición del grafo, en un tercer punto se valoriza esta propuesta desde el ámbito de terapia de lenguaje y como último punto se presenta el algoritmo del programa que ha sido utilizado para la obtención de estos datos y su procesamiento.

3.1. Diseño de un sistema inteligente de predicción de escritura

Se trabaja con los grafos iniciales como es el cuadrado, círculo y triángulo para la adquisición de características, contamos con las mediciones de fuerza de agarre del lápiz y la posición que nos da valores de x,y (Figura 20)

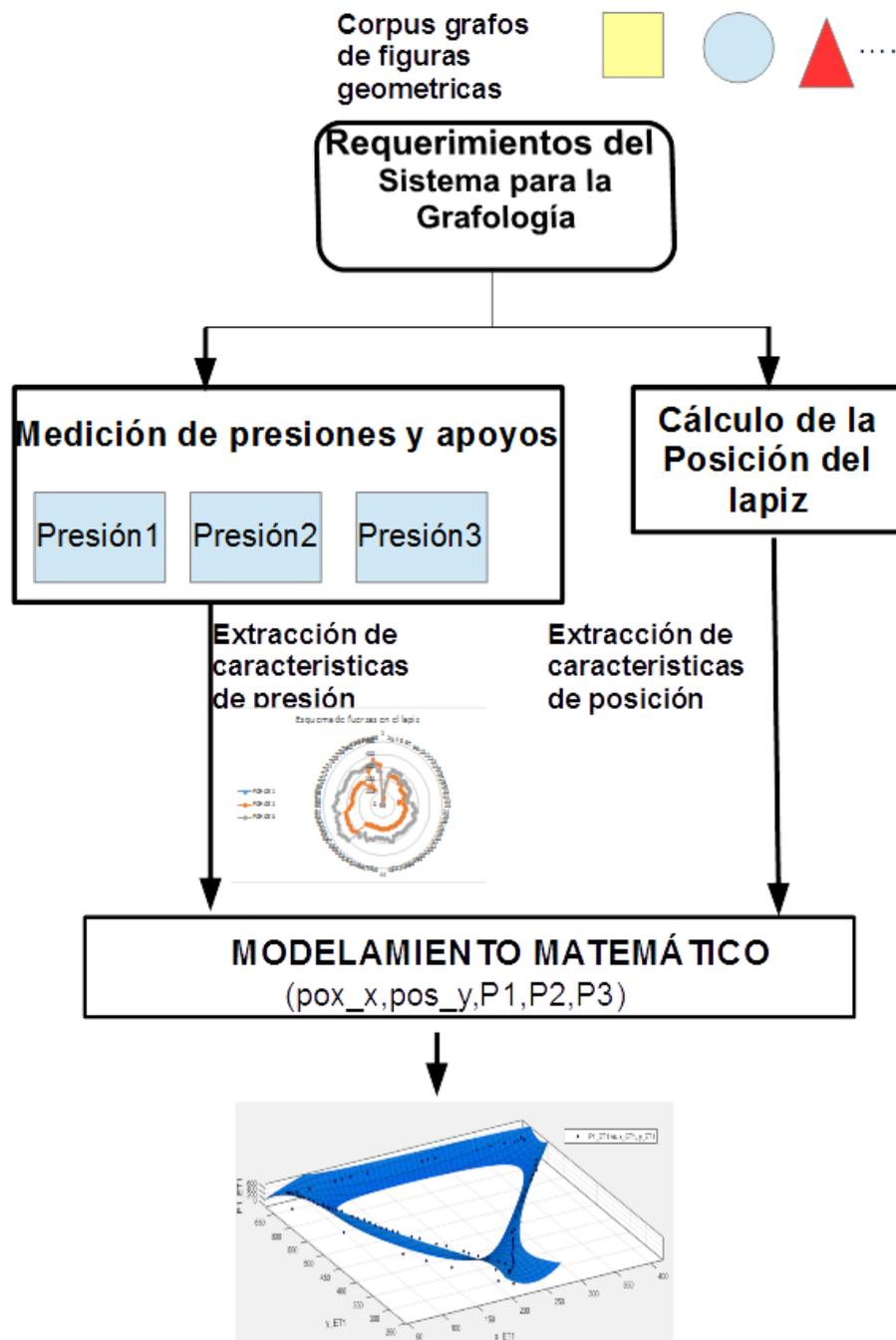


Figura 20. Algoritmo para realizar el modelamiento del comportamiento en el grafismo.

REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA PARA LA GRAFOLOGÍA

LAPIZ GRAFOLÓGICO

Se estudia para la grafología el mejor modelo en base a una ponderación de características. El estudio en base a elementos finitos que se realizó del lápiz se muestra en el trabajo de (Serpa-Andrade, Gonzalez-Delgado, & Verdugo-Cabrera, 2016), el mismo que encontró la geometría y la deformación de acuerdo a un patrón de posiciones de fuerza y apoyo, se dio como resultado que la geometría del lápiz tipo triangular es la mejor comparada con la forma cilíndrica y octagonal, se muestra el modelado del Stress de las geometrías seleccionadas en la figura 21.

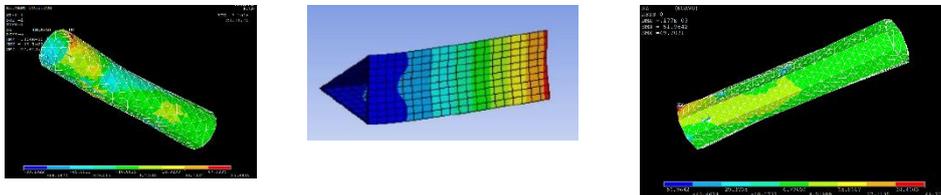


Figura 21. Stress en el diseño inicial (Serpa-Andrade, Gonzalez-Delgado, & Verdugo-Cabrera, 2016)

El estudio de las ponderaciones se profundizo y se presenta el análisis matemático de las deformaciones y la construcción del lápiz mediante elementos finitos como se muestra en la figura 22, en la cual se demuestra que existen deformaciones del material cuando la fuerza ejercida en los sensores es demasiado elevada (Gonzalez-Delgado, y otros, 2017)

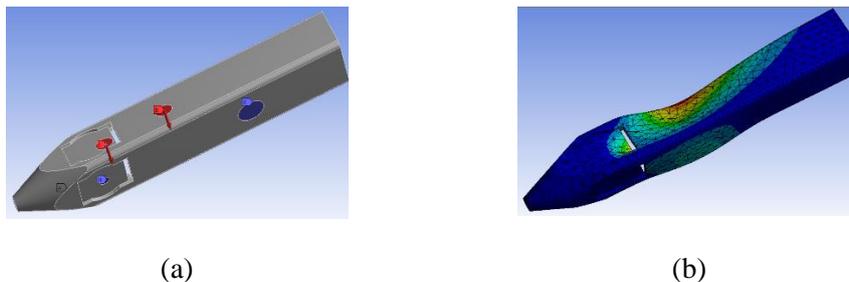


Figura 22. Se muestra (a) Áreas de las posiciones de los dedos. (b) Resultados de la deformación (Gonzalez-Delgado, y otros, 2017)

MEDICIÓN DE PRESIÓN Y APOYOS

Se toma los valores discretos de las presiones del lápiz, el cual tiene el comportamiento en cada uno dado por la curva de relación presión resistencia mostrado en la figura 23.

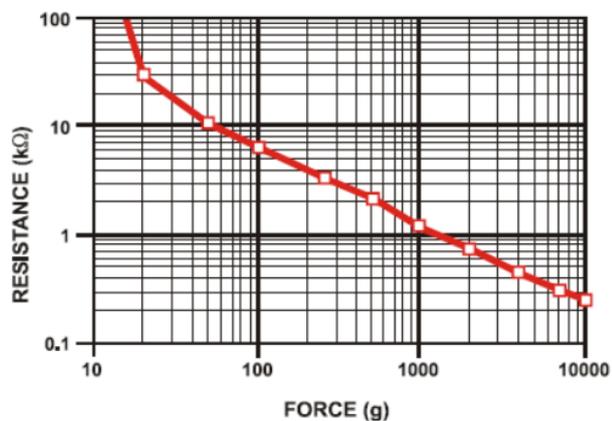


Figura 23. Curva característica del sensor de presión (Ojeda, 2017)

El mismo que presenta un comportamiento logarítmico en los dos ejes, su valor es captado por un circuito electrónico en base a partidores de tensión y la comunicación se la realiza por medio de un shield bluetooth como se muestra en la figura 24

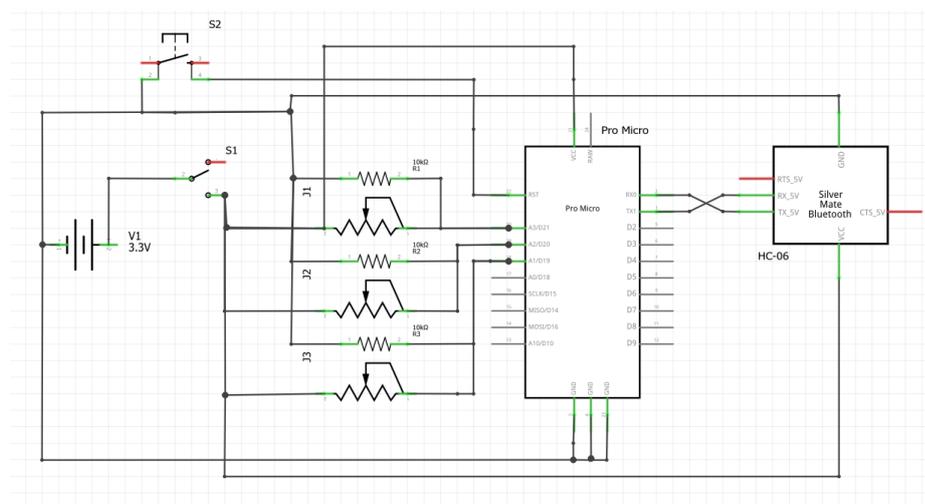


Figura 24. Esquema eléctrico para la obtención de señales de presión (Ojeda, 2017)

CÁLCULO DE LA POSICION DEL LAPIZ

MODELAMIENTO

Como primer paso se realiza el estudio de las variables que se puede obtener de la grafología como son:

- Direccionalidad
- Secuencia
- Coordinación viso-motriz
- Lateralidad
- Presión

3.2. Extracción de características del corpus utilizado.

En el caso de estudio de esta tesis, se tienen los datos de forma discreta, ya que se obtienen de un microcontrolador que envía datos al computador de presiones y posiciones.

Por lo cual se propone representar estos datos por medio de funciones continuas que permitan obtener valores dentro del rango de datos originales (interpolación), o fuera del rango de los datos (extrapolación).

3.2.1. Extracción de características de los sensores de presión

Para la extracción de características de los sensores de presión se debe conocer sobre la interpretación matemática de un conjunto de valores discretos, se da una introducción a la matemática aplicada.

INTERPOLACIÓN

La interpolación consiste en colocar una curva, o serie de curvas que pasen por cada uno de los puntos en forma directa, modelando así el comportamiento del sistema. La aproximación de funciones o la interpolación entre los datos o pueden ser realizadas mediante polinomios, funciones spline, funciones racionales o mediante series de Fourier, entre otras posibles formas.

FUNCIONES DE APROXIMACIONES

Las funciones de aproximación se obtienen por combinaciones lineales de elementos de familias de funciones elementales.

La forma general que estas poseen es:

$$a_0g_0(x) + a_1g_1(x) + \dots + a_ng_n(x)$$

Donde a_i son constantes por determinar y $g_i(x)$ funciones de una familia particular.

Los monomios x, x^2, \dots, x^n constituyen la familia o grupo más empleado; sus combinaciones generan aproximaciones del tipo polinomial:

$$a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n$$

Otra familia es el grupo conocido como funciones de Fourier:

$$1, \text{sen}(x), \cos(x), \text{sen}(2x), \dots$$

Al combinarse genera aproximaciones del tipo:

$$a_0 + \sum_{i=1}^n a_i \cos(ix) + \sum_{i=1}^n b_i \text{sen}(ix)$$

INTERPOLACIÓN POLINOMIAL

La forma general de un polinomio de n-ésimo grado es:

$$f(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n$$

Dados n+1 puntos, existe un polinomio de grado n que pasa por todos los puntos

La interpolación polinomial consiste en determinar el polinomio único de n-ésimo grado que se ajusta a los n+1 puntos.

Se pueden representar por medio de los polinomios de:

- Polinomios de Newton
- Polinomio de Lagrange

INTERPOLACIÓN POLINOMIAL DE NEWTON

El método de interpolación polinomial de Newton en Diferencias Divididas es una de la más populares y útiles INTERPOLACIONES polinomiales, entre ellos se puede mencionar la interpolación lineal y cuadrática

La interpolación lineal es la que consiste en unir dos puntos por medio de una línea recta.

$$\frac{f_1(x) - f(x_0)}{x - x_0} = \frac{f(x_1) - f(x_0)}{x_1 - x_0}$$

Que se puede escribir la fórmula de la interpolación lineal

$$f_1(x) = f(x_0) + \frac{f(x_1) - f(x_0)}{x_1 - x_0} * (x - x_0)$$

La expresión $\frac{f(x_1) - f(x_0)}{x_1 - x_0}$ corresponde a una aproximación en diferencia dividida finita a la primera derivada $f[x_1, x_0] = \frac{f(x_1) - f(x_0)}{x_1 - x_0}$

Siguiendo el mismo esquema anterior se puede decir que la interpolación cuadrática consiste en introducir una curvatura en la línea que une a los puntos cuando están tres de estos disponibles, conectándoles así con un polinomio de segundo grado, de modo que la función queda denotada como

$$f_2(x) = f(x_0) + \frac{f(x_1) - f(x_0)}{x_1 - x_0} * (x - x_0) + \frac{\frac{f(x_2) - f(x_1)}{x_2 - x_1} - \frac{f(x_1) - f(x_0)}{x_1 - x_0}}{x_2 - x_0} * (x - x_0) * (x - x_1)$$

Como en el caso anterior la expresión $\frac{\frac{f(x_2) - f(x_1)}{x_2 - x_1} - \frac{f(x_1) - f(x_0)}{x_1 - x_0}}{x_2 - x_0}$ es la expresión en diferencia dividida finita a la segunda derivada denotada como $f[x_2, x_1, x_0] = \frac{f[x_2, x_1] - f[x_1, x_0]}{x_2 - x_0}$, por lo que se puede escribir de la siguiente manera la expresión del polinomio cuadrático

$$f_2(x) = f(x_0) + f[x_1, x_0] * (x - x_0) + \dots + f[x_n, x_{n-1}, \dots, x_0] * (x - x_0) * (x - x_1)$$

Por lo tanto, una ecuación que permita ajustar un polinomio de n-ésimo orden a un conjunto de n+1 datos puede hallarse generalizando la expresión anterior de la siguiente manera

$$f_n(x) = f(x_0) + f[x_1, x_0] * (x - x_0) + f[x_2, x_1, x_0] * (x - x_0) * (x - x_1) * \dots * (x - x_{n-1})$$

INTERPOLACIÓN DE LAGRANGE

Se puede ver a la interpolación de Lagrange como una reformulación del polinomio de Newton solamente que evita el cálculo de las diferencias divididas, se presenta la siguiente expresión

$$f_n(x) = \sum_{i=0}^n L_i(x) * f(x_i)$$

En donde los coeficientes de LaGrange $L_i(x)$ se expresan de la siguiente manera

$$L_i(x) = \prod_{j=0, j \neq i}^n \frac{x - x_j}{x_i - x_j}$$

La sumatoria de todos los productos en la ecuación proporcionan el único polinomio de n-ésimo grado que pasa exactamente a través de todos los n+1 puntos

FENÓMENO DE RUNGE

El fenómeno de Runge es un problema que sucede cuando se usa interpolación polinómica con polinomios de alto grado empleando nodos equidistantes, ya que, al tener un polinomio de alto grado, la interpolación resultante oscila hacia los extremos del intervalo, se puede tender al infinito el error cuando el polinomio crece demasiado, en la curva a continuación se realiza la interpolación de varios órdenes para la obtención de la presión en uno de los sensores utilizados.

APROXIMACIÓN POR SPLINES

El problema anterior se evita utilizando curvas splines, que son polinomios por partes, es decir, colocar polinomios de grado inferior en subconjuntos de los datos, los mismos que se denominan trazadores o splines, solamente que la conexión debe ser visualmente suave, pudiendo ser estas ecuaciones lineales, cuadráticas o cúbicas.

TRAZADORES LINEALES

Los trazadores de primer grado para un grupo de datos ordenados pueden definirse como un conjunto de funciones lineales

$$f(x) = f(x_0) + m_0(x - x_0) \quad x_0 \leq x \leq x_1$$

$$f(x) = f(x_i) + m_1(x - x_i) \quad x_1 \leq x \leq x_2$$

.....

$$f(x) = f(x_{n-1}) + m_{n-1}(x - x_{n-1}) \quad x_{n-1} \leq x \leq x_n$$

Donde la pendiente se define como

$$m_1 = \frac{f(x_{i+1}) - f(x_i)}{x_{i+1} - x_i}$$

TRAZADORES CUADRÁTICOS

Su objetivo está en obtener un polinomio de segundo grado para cada intervalo entre los datos, de manera general se muestra la ecuación

$$f_i(x) = a_i x^2 + b_i x + c_i$$

Para $n+1$ datos ($i=0,1, 2,\dots,n$) existe n intervalos y por lo tanto $3n$ constantes desconocida, por lo que se requieren $3n$ ecuaciones que están dadas por las condiciones

Los valores de la función de polinomios adyacentes deben ser iguales en los nodos interiores ($2n - 2$ condiciones)

$$a_{i-1}x_{i-1}^2 + b_{i-1}x_{i-1} + c_{i-1} = f(x_{i-1}) \quad i = 2,3, \dots n$$

$$a_i x_{i-1}^2 + b_i x_{i-1} + c_i = f(x_{i-1}) \quad i = 2,3, \dots n$$

La primera y la última función deben pasar a través de los puntos extremos (2 condiciones)

$$a_1 x_0^2 + b_1 x_0 + c_1 = f(x_0)$$

$$a_n x_n^2 + b_n x_n + c_n = f(x_n)$$

Las primeras derivadas en los nodos interiores deben ser iguales, la primera derivada $f_i(x) = a_i x^2 + b_i x + c_i$ es $f'(x) = 2ax + b$, las $n-1$ condiciones quedan:

$$2a_{i-1}x_{i-1} + b_{i-1} = 2a_i x_{i-1} + b_i \quad i = 2,3, \dots, n$$

Debe elegirse una condición adicional, ya que hasta ahora se tiene $3n-1$ ecuaciones y son $3n$ incógnitas, para ello se puede suponer que en el primer punto la segunda derivada es cero lo cual se puede expresar como $a_1 = 0$

TRAZADORES CÚBICOS

El objetivo en los trazadores cúbicos es obtener un polinomio de tercer grado para cada intervalo entre los nodos

$$f_i(x) = a_i x^3 + b_i x^2 + c_i x + d_i$$

Así para $n+1$ datos ($i=0,1,2,\dots,n$) existen n intervalos y $4n$ incógnitas a evaluar por lo que se requieren las condiciones

- Los valores de la función deben ser iguales en los nodos interiores ($2n-2$ condiciones)
- La primera y la última función deben pasar a través de los puntos extremos (2 condiciones)
- Las primeras derivadas en los nodos interiores deben ser iguales ($n-1$ condiciones)
- Las segundas derivadas en los nodos interiores deben ser iguales ($n-1$ condiciones)
- Las segundas derivadas en los nodos extremos son cero (2 condiciones)

Los cinco tipos de condiciones anteriores proporcionan el total de las $4n$ ecuaciones requeridas para encontrar los $4n$ coeficientes.

PROCESO DE EXTRACCIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE LOS SENSORES DE PRESIÓN

A través de un diseño electrónico que está inmerso en el lápiz, se obtiene como datos en el computador el nivel en bits cuando se ejerce una fuerza en el sensor, que está representado de acuerdo a la gráfica de la constitución del mismo y representado en la figura 25 en donde se ha utilizado splines lineales en la programación del microcontrolador.

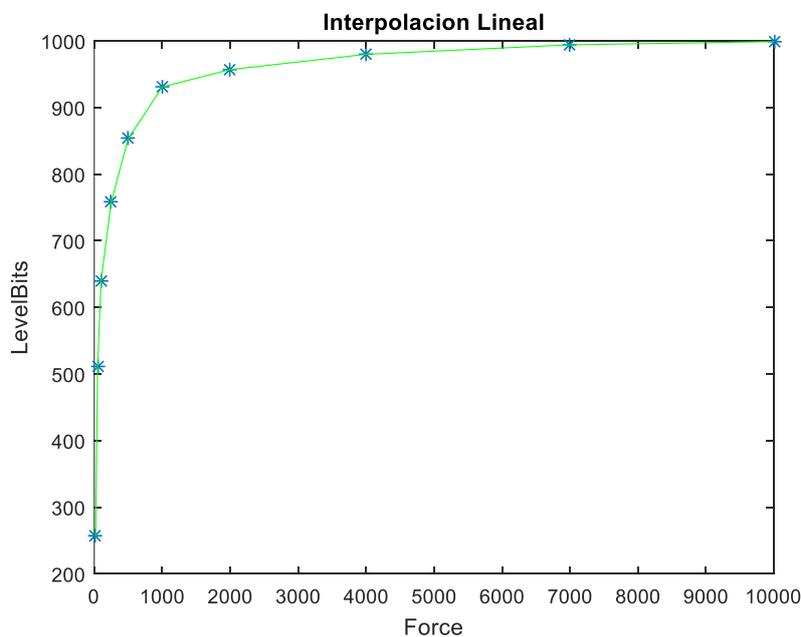


Figura 25. Curva característica del sensor de presión con respecto a los niveles de bits (Ojeda, 2017)

3.2.2. Extracción de características de la posición

PROPUESTA CON GIROSCOPIO

Se presenta por lo tanto el modelo matemático de acuerdo a la posición de la escritura, el lápiz en modo dinámico, se propuso la presencia de un giroscopio en el lápiz para el cálculo de la posición.

Se define por lo tanto las condiciones de contorno del modelo

El análisis vectorial esta intrínseco, las operaciones que son aplicadas no dependen de un sistema de referencia.

Existe invariación en la rotación y traslación de la escritura.

Se tiene el Sistema inicial como $O = (x, y, z)$. (figura 26)

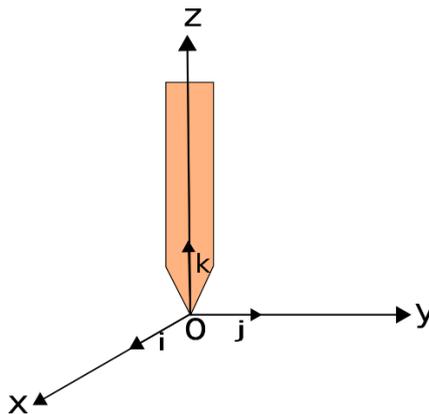


Figura 26. Sistema inicial en O definiendo la trupa (i,j,k).

Tomando la trupa (i, j, k) que se presenta en la figura, el modelo usando una matriz de rotación para estabilizar la referencia del sistema de rotación $O' = (x, y, z)$ para así obtener los ángulos, acorde al movimiento de la mano:

$$\begin{bmatrix} i' \\ j' \\ k' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_1 i & \alpha_2 j & \alpha_3 k \\ \beta_1 i & \beta_2 j & \beta_3 k \\ \gamma_1 i & \gamma_2 j & \gamma_3 k \end{bmatrix}$$

Donde $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ son los cosenos directores del vector i' con respecto a i, j, k . Los coeficientes $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$ son los cosenos directores de i con respecto a la tupla i', j', k' como se indica a continuación:

$$\begin{bmatrix} i \\ j \\ k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_1 i' & \beta_1 j' & \gamma_1 k' \\ \alpha_2 i' & \beta_2 j' & \gamma_2 k' \\ \alpha_3 i' & \beta_3 j' & \gamma_3 k' \end{bmatrix}$$

Los cosenos directores están establecidos como $i' = \cos(\phi)\bar{i} + \sin(\phi)\bar{j}$ y $j' = -\sin(\phi)\bar{i} + \cos(\phi)\bar{j}$ sirviendo para definir la rotación en cada instante de la escritura. Se presenta el sistema

$$(i' j' k') = (i' x j') * k = \begin{bmatrix} i'_x & i'_y & i'_z \\ j'_x & j'_y & j'_z \\ k'_x & k'_y & k'_z \end{bmatrix} = 1$$

Para encontrar la posición correspondiente al lápiz en cada instante de la escritura se define como la traslación y rotación simultanea de la mano

El trazo se puede obtener mediante la presentación del vector \overline{OP} en función de la traslación del movimiento en los tres ejes

$$\overline{OP} = x'i' + y'j' + z'k'$$

Reemplazando i', j', k' se obtiene:

$$\overline{OP} = x(\alpha_1 i' + \alpha_2 j' + \alpha_3 z') + y(\beta_1 i' + \beta_2 j' + \beta_3 k') + z(\gamma_1 i' + \gamma_2 j' + \gamma_3 k')$$

Se tiene también que:

$$\overline{OP} = (x\alpha_1 + y\beta_1 + z\gamma_1)i' + (x\alpha_2 + y\beta_2 + z\gamma_2)j' + (x\alpha_3 + y\beta_3 + z\gamma_3)k'$$

Entonces se tiene por igualdades las expresiones

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_1 x & \alpha_2 y & \alpha_3 z \\ \beta_1 x & \beta_2 y & \beta_3 z \\ \gamma_1 x & \gamma_2 y & \gamma_3 z \end{bmatrix}$$

Por lo tanto, para obtener la posición original de acuerdo al sistema de escritura planteado se tiene:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_1 x' & \beta_1 y' & \gamma_1 z' \\ \alpha_2 x' & \beta_2 y' & \gamma_2 z' \\ \alpha_3 x' & \beta_3 y' & \gamma_3 z' \end{pmatrix}$$

Ahora si $\overline{OP} = \bar{a} = a_x \bar{i} + a_y \bar{j} + a_z \bar{k}$, se reemplaza los coeficientes en los componentes del vector y se obtiene:

$$a'_x = \alpha_1 a_x + \alpha_2 a_y + \alpha_3 a_z$$

$$a'_y = \beta_1 a_x + \beta_2 a_y + \beta_3 a_z$$

$$a'_z = \gamma_1 a_x + \gamma_2 a_y + \gamma_3 a_z$$

O:

$$a_x = \alpha_1 a_{x'} + \alpha_2 a_{y'} + \alpha_3 a_{z'}$$

$$a_y = \beta_1 a_{x'} + \beta_2 a_{y'} + \beta_3 a_{z'}$$

$$a_z = \gamma_1 a_{x'} + \gamma_2 a_{y'} + \gamma_3 a_{z'}$$

PROPUESTA CON LA PANTALLA TÁCTIL

Cuando se ejecuta el grafismo se toma la posición de cada uno de los pixeles en los cuales fue dibujado el grafo, en el caso del ejemplo se muestra un cuadrado (figura 27), que fue realizado por un niño con espasticidad.

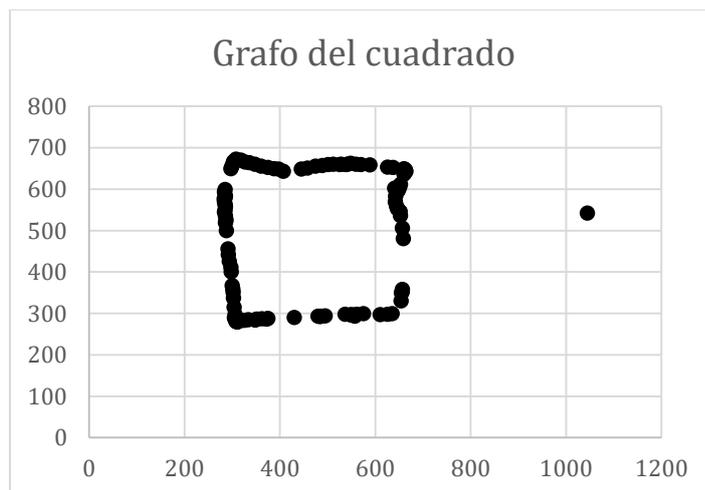


Figura 27. Posición del grafo en la pantalla

3.3. Evaluación de la metodología propuesta desde el ámbito de la terapia de lenguaje y conceptos necesarios.

Con la ayuda de terapeutas de lenguaje se presenta los términos utilizados en este proyecto con sustento profesional del área.

3.3.1. Trastornos del Lenguaje Escrito

Los trastornos del aprendizaje afectan a la lectura, ortografía, cálculo.

Las dificultades de aprendizaje es importante detectar, intervenir y evaluar para eliminar las barreras de aprendizaje existentes en la lectura y escritura.

Escritura: la producción de signos gráficos legibles y correctamente realizados, necesita de capacidades de orden viso-espacial, perceptivo motor.

- Análisis sincrético
- Aparece la idea en la mente
- Se genera una secuencia inicial de imágenes o palabras relacionadas
- Representación de la idea en oraciones y palabras
- Análisis sónico
- Decodificación de los sonidos en letras
- Gráfica en papel.

La Dislexia – Disortografía, son términos utilizados para designar la existencia de dificultades en la adquisición del lenguaje escrito. Puede deberse a la presencia de trastornos funcionales a nivel de: Lateralidad mal establecida, dificultades en la integración del esquema corporal, dificultades en la estructuración tiempo – espacial, retardo en el desarrollo del lenguaje-palabra, déficit en la percepción auditiva –visual.

Como prerrequisitos para su aprendizaje se requiere de una cierta madurez neurológica, afectiva, conocimiento del entorno, experiencias vividas por el niño.

El desarrollo efectivo-cognitivo e instrumental están ligados estrechamente.

Actividades Manuales. Movimientos de transporte de la mano y prensión: Transporte de la mano hacia el objeto, sincronización de los movimientos del hombro, codo y muñeca, y la del desarrollo de la preforma (mano-objeto) están reguladas a partir de los 3 años.

Grafismo: evolución: Va del garabateo hasta el círculo y la cruz, pero hay que esperar hasta los cuatro años para que el niño dibuje un cuadrado. Las actividades favoritas de 2 a 3 años son el coloreado, pintura con los dedos y pincel.

En los trazos son visibles las contracciones que aparecen con exceso en el movimiento voluntario, las manos de los niños están crispadas intentando sujetar el lápiz o el pincel.

- Trazos curvos, que tienen como centro el hombro, codo y muñeca.
- Trazos circulares en dirección de las agujas del reloj o bien en sentido contrario.
- Verticales y horizontales en la dirección pedida.

Escala de Desarrollo del Grafismo:

- 18 meses: garabateo
- 24 meses: trazo vertical
- 30 meses: trazos horizontales y verticales
- 3 años: círculo (cerrado), inicio de la cruz
- 3 años 6 meses: cruz y trazos oblicuos
- 4 años: dibuja un cuadrado con un ángulo redondeado
- 4 años 6 meses: cuadrado
- 5 años: dibuja un triángulo
- 5 años 6 meses: dibuja un triángulo cuando se lo piden
- 7 años: copia un rombo.

Representación mental del grafismo es cuando la ejecución se hace automática.

El grafismo es la evidencia obligatoria para aprender a leer y escribir, asociando el espacio y el tiempo (arriba-abajo, derecha –izquierda, antes –después).

Disgrafía: Descrita como trastorno que afecta a la escritura y a la misma grafía de:

- Las letras y las cifras
- Las uniones entre ellas

3.3.2. El Trazo

Concierne también a los espacios irregulares entre las líneas, las palabras, letras, ausencia de margen, choque en el sentido horizontal y vertical.

Las dificultades que se mantiene en el niño al inicio del aprendizaje de la escritura persiste de forma anormal; puede existir crispación o fatiga. La etiología es variada.

- Trastornos motores (tonus, postura, equilibrio)
- Trastornos perceptivos (mala estructuración témporo-espacial)
- Trastornos simbólicos, trastornos de la representación
- Trastornos socio-afectivos y comportamentales

Una evaluación neurológica es necesario en los casos severos a de diferenciar la digrafía que atenta al grafismo en los niños con debilidad motora de origen central o periférica.

La reeducación se dará en función de los objetivos para proporcionar los medios motores y simbólicos necesarios para el grafismo normal.

Grafismo: Lateralidad, motricidad, posición, velocidad.

Lateralidad: Predominio funcional de un lado del cuerpo humano sobre el otro.
Evolución:

- 4-6 años, se usa preferentemente una mano.
- 6 años: Discrimina izquierda-derecha.
- 8 años, es capaz de distinguir su mano derecha e izquierda, cruzar la línea media (mano derecha – oreja izquierda)
- 10 años: reconoce sin problema la mano derecha e izquierda del observador.

Direccionalidad: La dominancia de una persona está determinada por el predominio de uno de los hemisferios cerebrales, lo importante en el niño es que tenga conciencia de la existencia de un lado derecho e izquierdo de su cuerpo y sepa proyectar al mundo que nos rodea.

La lateralidad y direccionalidad son aspectos importantes para el inicio del proceso de la lectoescritura.

Percepción: Es el acto por el cual tomamos conocimiento de un objeto del medio exterior, ya sea visual, auditivo, etc. basada en sensaciones, acompañada de representaciones y de juicios.

Percepción visual: interviene en todas las acciones que ejecutamos; su eficiencia ayuda al niño a aprender a leer, a escribir, a usar la ortografía. Facultades de la percepción visual:

- Coordinación viso-motriz
- Percepción figura – fondo
- Constancia perceptual (forma)
- Percepción en el espacio
- Relación Espacial.

Discapacidad Motora de Origen Cerebral: Es una secuela permanente y definitiva de una lesión cerebral no evolutiva, no heredada; la cual no afecta al desarrollo normal de la inteligencia. El niño tiene un cerebro normal que sufrió una agresión, en el nacimiento o alrededor del mismo.

3.3.3. Clasificación: Tipos de Trastornos Motrices:

- Espasticidad: Se denomina al incremento del reflejo de estiramiento. Los movimientos son lentos y rígidos. Afecta el control de los movimientos voluntarios.
- Atetosis: Caracterizada por la presencia de movimientos involuntarios, incontrolables que dificulta la actividad voluntaria. Son causados por cambios bruscos de hipertonía a la hipotonía.
- Ataxia: la musculatura es flácida, las reacciones de equilibrio están alteradas.
- Debilidad muscular: Como trastorno es sí mismo.
- Formas Mixtas: Los espásticos y atetósicos se encuentran puros o mixtos, pero es raro encontrar ataxia pura.

Aplicación de pruebas estandarizadas:

Brev: Batería rápida de evaluación de las funciones cognitivas: funciones verbales, funciones no verbales, aprendizajes académicos.

Jel: Prueba de conciencia fonológica, Es la capacidad para analizar y sintetizar de manera consciente los sonidos de la lengua. La conciencia fonológica es determinante en el aprendizaje de la lectura y escritura.

Frostig: Desarrollo de la Percepción visual, evalúa los retrasos en la madurez perceptiva en niños que presentan dificultades de aprendizaje. Explora 5 aspectos de la percepción visual: Coordinación viso-motora, Discriminación figura-fondo, Constancia de formas, Percepción de posiciones en el espacio y Relaciones espaciales.

Pruebas pedagógicas acorde al nivel educativo que cursan los niños

TALÉ: Test de análisis de la Lectura y la Escritura. Investiga con rapidez y detalle el nivel general y las características específicas de la lectura y escritura en un momento dado del aprendizaje. Comprende dos partes (Lectura- Escritura).

Test de exploración fonológica – fonética de M Monfort – A Juárez: Expresión espontánea – repetición. Evalúa la Presencia de alteraciones básicas (malformaciones, deficiencias auditivas, deficiencias neuromotoras).

El requerimiento para el aprendizaje desde el punto de vista de terapeutas de lenguaje va más allá del diagnóstico grafológico, es posible sin embargo generar como primera instancia este dispositivo para observar el comportamiento de los niños en los primeros pasos de la grafología como son, el dibujo de trazos como son el cuadrado, TRIÁNGULO y círculo.

3.4. Codificación e implementación de los scripts.

Inicia la toma de datos de presiones y posiciones por medio de los circuitos indicados en los puntos anteriores, se muestra en la figura 28 el diagrama de funcionamiento del sistema

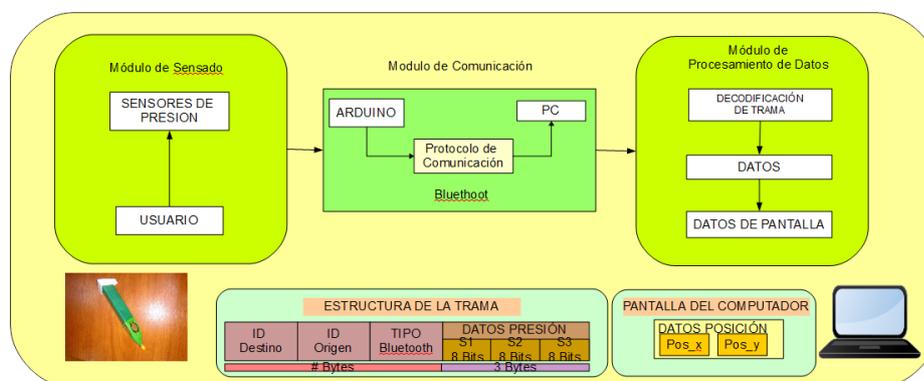


Figura 28. Diagrama de funcionamiento del sistema

El módulo de sensado tiene tres sensores de presión que envían datos de manera inalámbrica a la PC, con los datos tomados de la posición de escritura en la pantalla se genera una base de datos que va ser procesada en Matlab (Figura 29)

```

clear all
hold off
%REGULAR TRIANGULO
DATA_RT1=(xlsread('DATOS','RT1','A1:A111'))';
P1_RT1=(xlsread('DATOS','RT1','B1:B111'))';
P2_RT1=(xlsread('DATOS','RT1','C1:C111'))';
P3_RT1=(xlsread('DATOS','RT1','D1:D111'))';
x_RT1=(xlsread('DATOS','RT1','E1:E111'))';
y_RT1=(xlsread('DATOS','RT1','F1:F111'))';
figure(1)
subplot(2,2,1),plot(DATA_RT1,P1_RT1,'*'),xlabel('Muestras'),ylabel('Fuerza
sensor 1'),title('Comportamiento sensor 1')
subplot(2,2,2),plot(DATA_RT1,P2_RT1,'*'),xlabel('Muestras'),ylabel('Fuerza
sensor 2'),title('Comportamiento sensor 2')
subplot(2,2,3),plot(DATA_RT1,P3_RT1,'*'),xlabel('Muestras'),ylabel('Fuerza
sensor 3'),title('Comportamiento sensor 3')
subplot(2,2,4),plot(x_RT1,y_RT1,'*'),xlabel('Pos x'),
ylabel('Pos y'),title('Grafo en el plano')

```

Figura 29. Script de toma de datos de un lápiz grafológico

Se utiliza la herramienta de Matlab Curve Fitting (Figura 30) tolos para obtener las funciones de presión con respecto a la posición, mediante la regresión lineal múltiple.

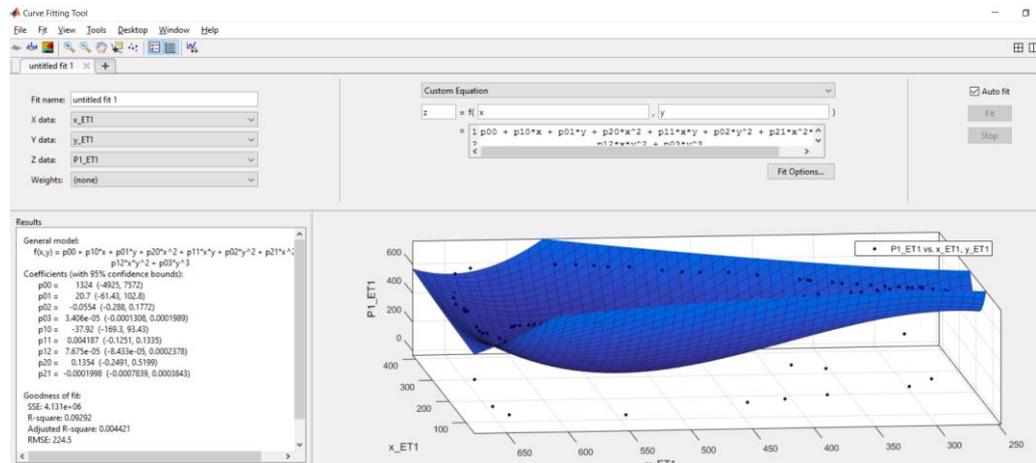


Figura 30. Herramienta Curve Fitting Tool de Matlab

CAPÍTULO 4

4. DISEÑO DEL PLAN DE EXPERIMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Diseño del plan de experimentación.

Para el plan de experimentación se tiene como objeto principal definir los requerimientos a cumplir el sistema inteligente que va ser utilizado para la predicción y simulación de la escritura en niños con espasticidad.

Las fases en las que se realizarán las pruebas son:

- Planificación de las pruebas: Identificar los requisitos para las pruebas
- Diseño de las pruebas: Identificar los casos de prueba
- Implementación de las pruebas: Establecer los entornos de prueba, desarrollar las clases de prueba, componentes de prueba y datos de prueba.
- Ejecución de las pruebas: Ejecutar los casos de prueba. Investigar los resultados no esperados y registrar los defectos.
- Evaluación de las pruebas: Analizar los defectos, determinar si se han alcanzado los criterios de las pruebas. Crear informes de evaluación de las pruebas.
- Alcance de las pruebas

Se ejecutan las pruebas para el reconocimiento de variables que sirven para presentar el modelo matemático para la predicción de escritura.

Pruebas del sistema de diagnóstico de patologías

Tabla 6. Prueba de sistema de adquisición de datos.

Validación del programa para detección de la patología de esofagitis		
<i>Unidades probadas</i>	<i>a ser</i>	Programa de obtención de datos de presión. Programa de obtención de datos de precisión Programa de identificación de ecuaciones
<i>Objetivos de las pruebas</i>		Validar la obtención de datos óptimos de acuerdo al algoritmo implementado Obtener datos para la obtención de una interpretación gráfica Validar el programa para la obtención de descriptores

	Validar Programa de identificación de las ecuaciones
<i>Detalle de la ejecución</i>	Aplicar la recolección de datos de los sensores de presión Validar los datos de la posición adquirida Implementar software para identificación de descriptores de la imagen Implementar un algoritmo para la identificación de la ecuación característica de la grafología

Se presenta en la Tabla 6 la prueba del sistema de obtención de la ecuación del grafismo. Aquí se analizan los programas que se utilizan para la detección de los puntos y las presiones que se obtienen con el hardware para poder representar estos datos en una ecuación de la grafología, se presentan los objetivos y los detalles de la ejecución del sistema.

4.2. Ejecución del plan de experimentación.

Para llevar a cabo un registro de las validaciones de los distintos procesos que ofrece el sistema inteligente de predicción, se ha desarrollado varios formularios de validación, los mismos que servirán para identificar y corregir los errores que no han sido detectados en el proceso de desarrollo del software.

Tabla 7. Formulario de para software de recolección de datos del grafismo para su predicción y modelación

FORMULARIO DE VALIDACIÓN DEL SISTEMA INTELIGENTE DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL GRAFISMO PARA SU PREDICCIÓN Y MODELACIÓN			
<i>FUNCIONAMIENTO DEL SOFTWARE DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL GRAFISMO</i>			
Aspectos a evaluar	Valoración		Observaciones
	SI	NO	
<i>¿Al realizar la toma de datos de los sensores de presión y la posición del lápiz se obtiene información útil para su uso en los descriptores?</i>	X		La recolección de datos de presión y posición generan una relación con la cual se puede modelar el grafismo que presenta una persona y será guía para el adecuado funcionamiento del algoritmo implementado.

<i>¿La modelación es posible con los descriptores obtenidos?</i>	X		El modelamiento correcto y su predicción dependerá del corpus utilizado
--	---	--	---

En la tabla 7 se presenta el formulario para validación del sistema inteligente de recolección de datos y modelación del grafismo de una persona para la predicción de la escritura.

4.3. Resultados del sistema propuesto.

4.3.1. Reconocimiento de datos obtenidos desde la escritura

A continuación, se resumen algunos de los casos de estudio que existen en el estado del arte, así el proceso en el que se fundamenta y los resultados obtenidos.

4.3.2. Análisis de resultados obtenidos

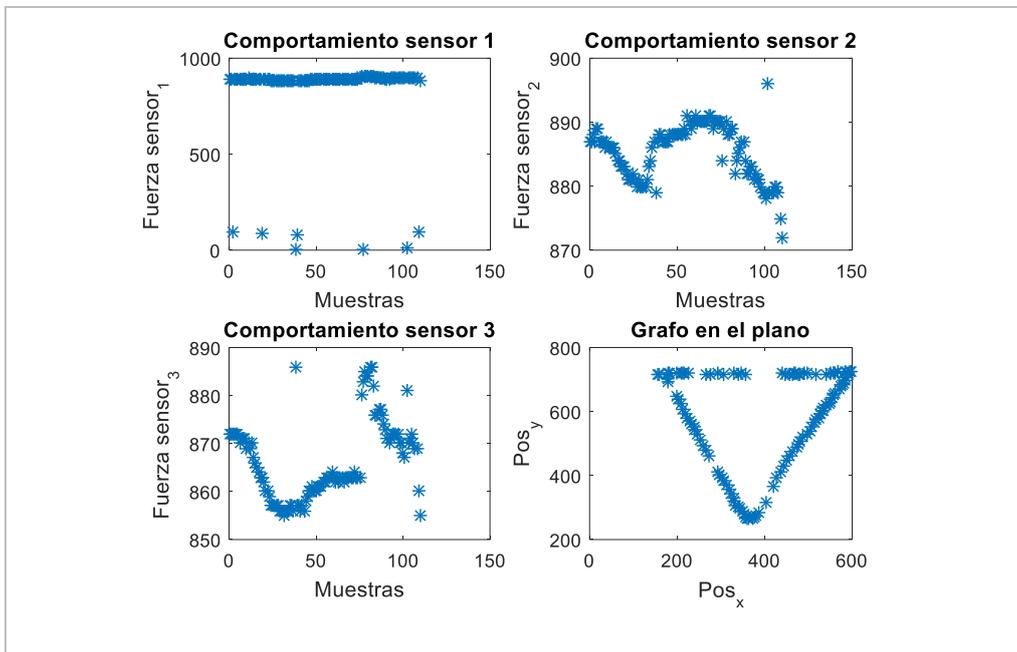
A fin de brindar soporte en la direccionalidad de los grafos para obtener los descriptores necesarios para predecir y modelar su comportamiento se realizan las siguientes pruebas.

4.3.2.1. Relación de direccionalidad

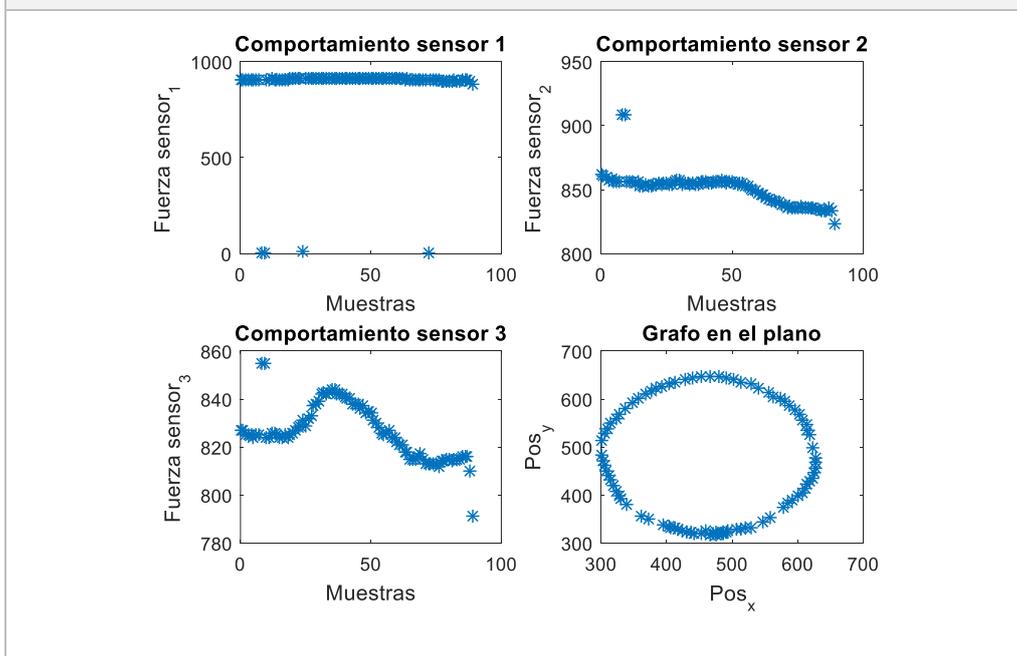
La información de la posición del grafo cuando se dibuja sobre la pantalla capacitiva, da como referente la direccionalidad del mismo

- Cuando existe una continuidad de valor de presión de los sensores se tiene un trazo recto
- Cuando existe una variación de presión en uno de los sensores se tiene un cambio de dirección del grafo, dependiente de la relación de los dos sensores de presión con respecto al sensor de apoyo, se muestra la gráfica de presiones y posiciones del triángulo, cuadrado y círculo

En la figura 31 se muestra el comportamiento de las presiones de acuerdo a la posición del grafo en un niño regular, del triángulo, círculo y cuadrado



(a)



(b)

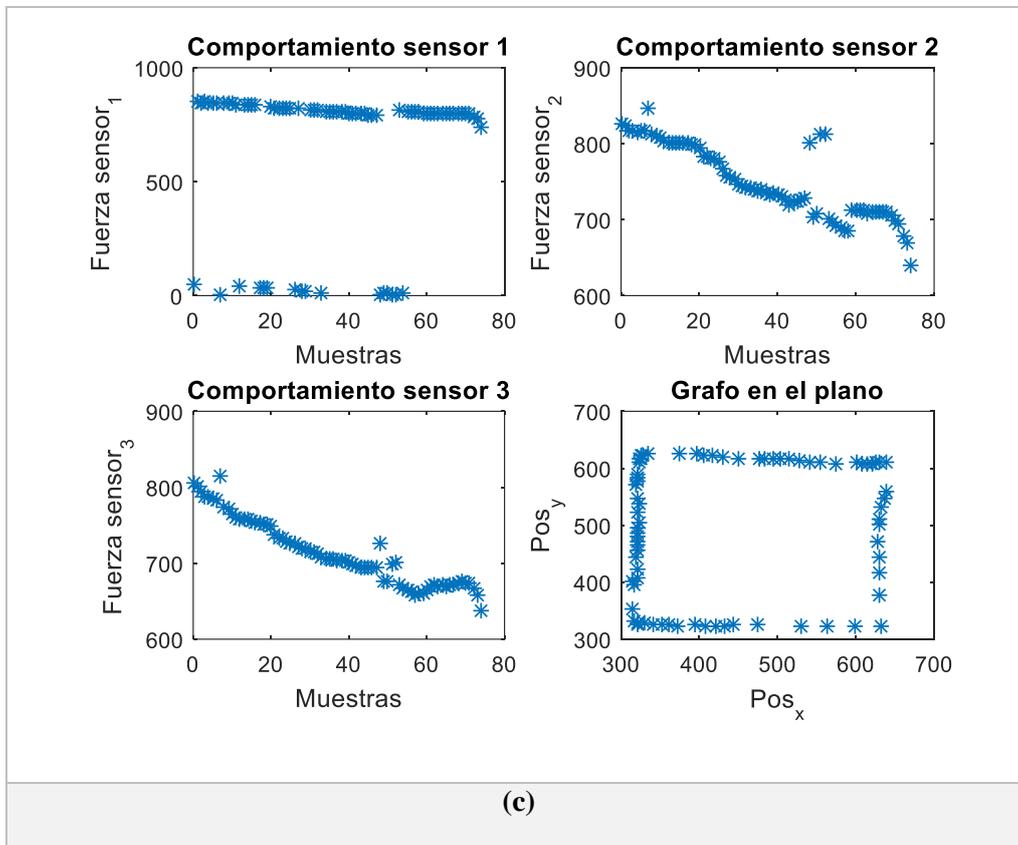
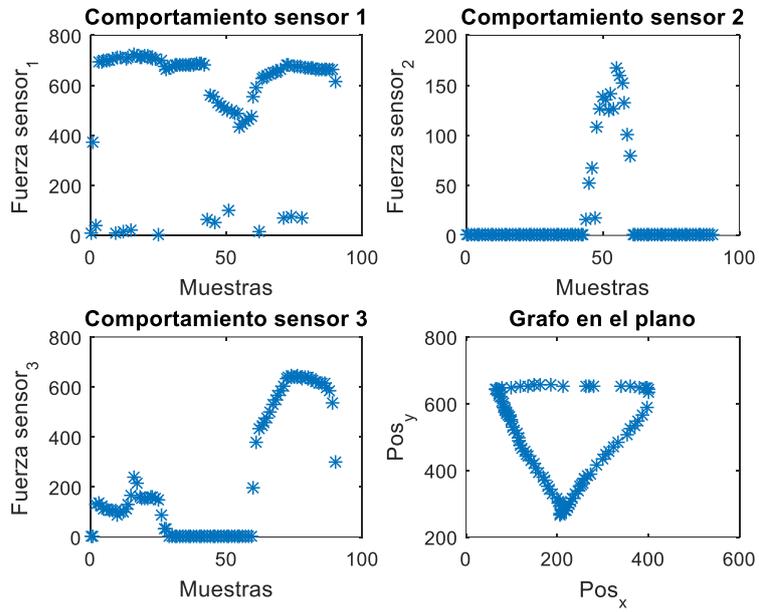
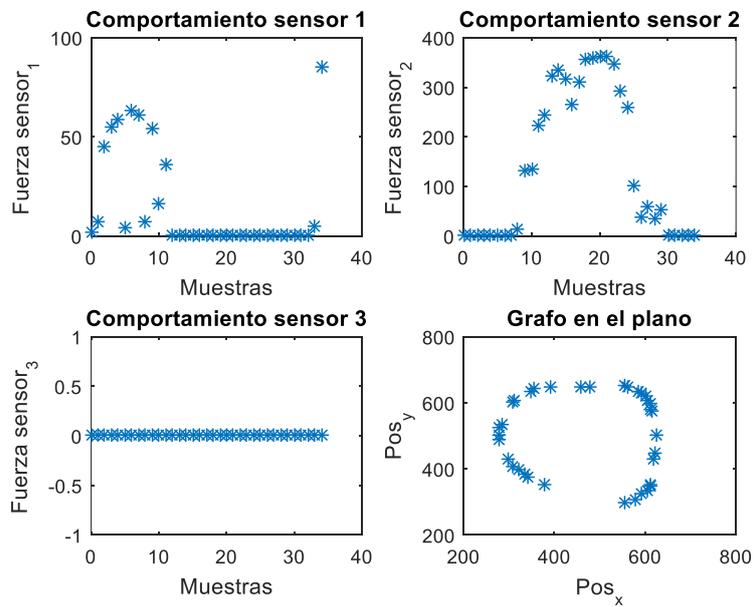


Figura 31. Gráficas de presiones p_1 , p_2 , p_3 del triángulo (a), del círculo (b) y del cuadrado (c) con línea guía para un niño regular.

Como se puede ver en la figura 31 que corresponde a las gráficas de presiones y posición del grafo de un niño regular, existe una variación de presión acentuada en el sensor 1, este es el que se utiliza como apoyo mientras que en el sensor 2 y 3 existe una continuidad de la presión en todo el trazo.



(a)



(b)

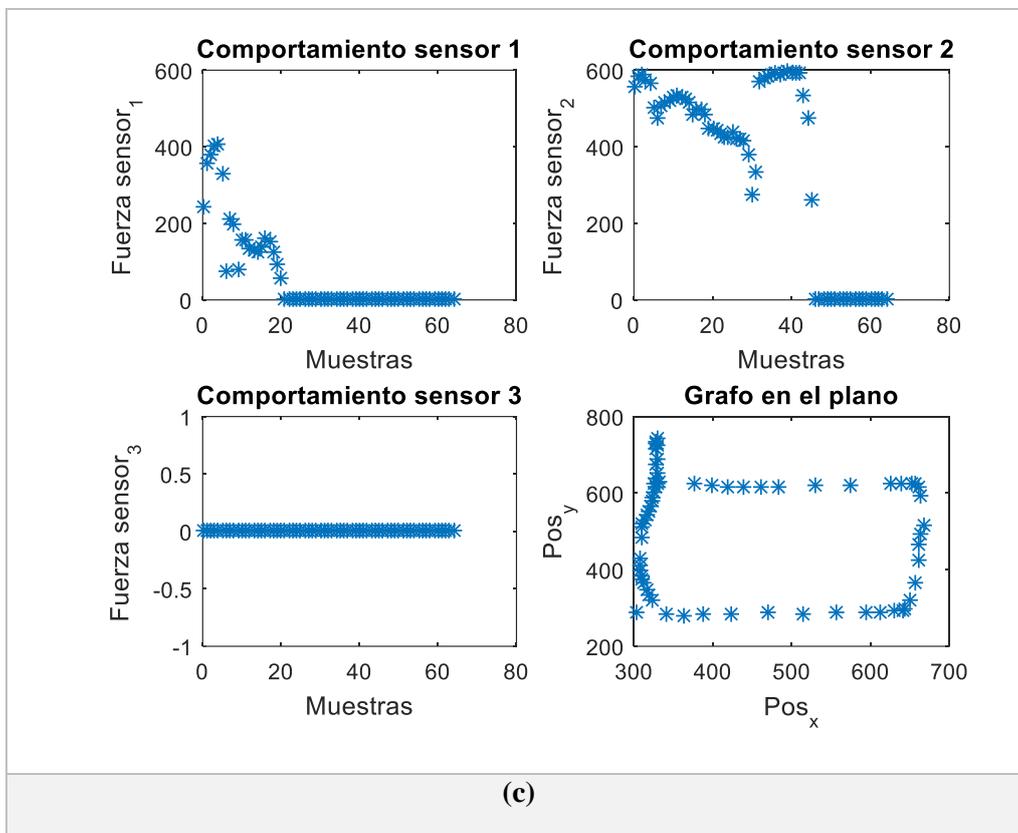
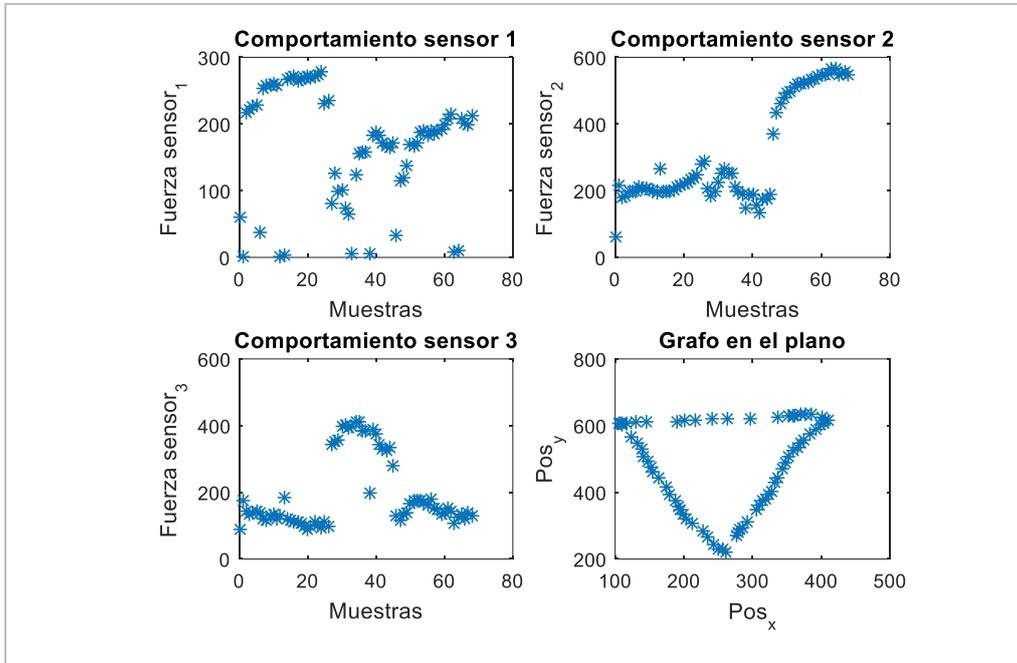
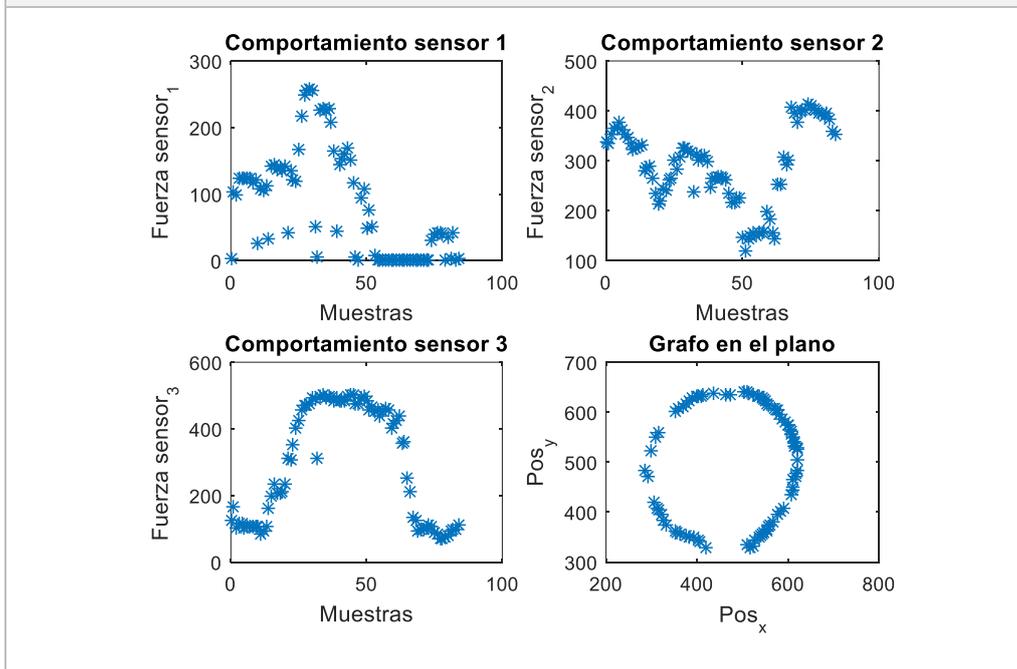


Figura 32. Gráficas de presiones p_1 , p_2 , p_3 del triángulo (a), del círculo (b) y del cuadrado (c) con línea guía para un niño con espasticidad.

Como se puede ver en la figura 32 que corresponde a las gráficas de presiones y posición del grafo en un niño con espasticidad, existe una variación de presión acentuada en el sensor 1 y en el sensor 2, no existe presión en el sensor 3, este inconveniente se da puesto que el niño no tiene el agarre del lápiz estándar, el niño se adapta solo en los dos sensores



(a)



(b)

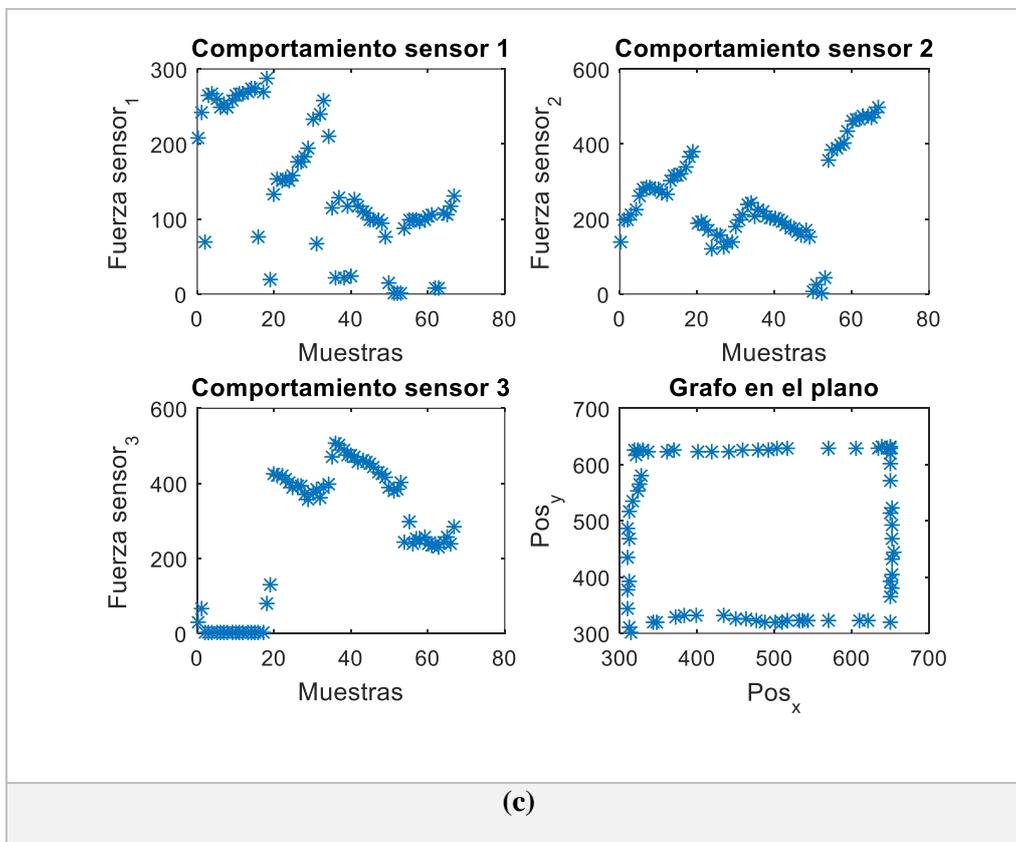


Figura 33. Gráficas de presiones p_1 , p_2 , p_3 del triángulo (a), del círculo (b) y del cuadrado (c) con línea guía para un niño con atetosis.

Como se puede ver en la figura 33 que corresponde a las gráficas de presiones y posición del grafo en un niño con atetosis, existe una variación de presión acentuada en todos los sensores, no existe un patrón, como se vio en la sintomatología del niño, no tiene control de presión en los movimientos, el niño se adapta a todos los sensores,

4.3.2.2. Modelado de la relación de direccionalidad

La información que se obtiene del lápiz y la pantalla son:

- Posición en x (x)
- Posición en y ($f(x)$)

Se presenta las relaciones que existen entre las variables para luego ponerlos en funciones

La pendiente se define como

$$m_i = \frac{f(x_{i+1}) - f(x_i)}{x_{i+1} - x_i}$$

Se realiza la relación de pendientes en cuanto a los puntos del grafo

$m_i \cong m_{i+1}$ recta

$m_i \neq m_{i+1}$ triángulo

$m_i \cong \frac{1}{m_{i+1}}$ cuadrado

Se presenta la ecuación en función de las posiciones utilizando el modelo de aproximaciones por Splines lineal.

Los trazadores de primer grado para un grupo de datos ordenados pueden definirse como un conjunto de funciones lineales

$$f(x) = f(x_0) + m_0(x - x_0) \quad x_0 \leq x \leq x_1$$

$$f(x) = f(x_i) + m_1(x - x_i) \quad x_1 \leq x \leq x_2$$

.....

$$f(x) = f(x_{n-1}) + m_{n-1}(x - x_{n-1}) \quad x_{n-1} \leq x \leq x_n$$

Entonces para un grafo en dos dimensiones con los datos de posición de 'x' y 'y', se tiene un conjunto de funciones que unen los datos discretos con una línea recta generadas al aplicar splines lineales.

4.3.2.3. Modelado de la relación de direccionalidad y presiones

La información que se obtiene del lápiz y la pantalla y de las presiones son:

- Fuerza del sensor 1 (P1)
- Fuerza del sensor 2 (P2)
- Fuerza del sensor 3 (P3)
- Posición en x
- Posición en y

Se presenta las relaciones que existen entre las variables para luego ponerlos en funciones, se busca una función que relaciones las presiones y la posición del grafo, para lo cual se utiliza la regresión lineal múltiple, de forma general se utiliza la función.

$$f(P_i) = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + e$$

El estudio resulta útil cuando se ajustan los datos experimentales donde la variable sujeta al estudio es una función de otras dos variables. En este caso bidimensional la “línea” de regresión se convierte en un plano.

Los valores óptimos para los coeficientes son determinados mediante la suma de los cuadrados de los residuos

$$S_r = \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1x_{1i} - a_2x_{2i})^2$$

Y derivando con respecto a cada uno de los coeficientes desconocidos,

$$\frac{\partial S_r}{\partial a_0} = -2 \sum (y_i - a_0 - a_1x_{1i} - a_2x_{2i})$$

$$\frac{\partial S_r}{\partial a_1} = -2 \sum (y_i - a_0 - a_1x_{1i} - a_2x_{2i})x_{1i}$$

$$\frac{\partial S_r}{\partial a_2} = -2 \sum (y_i - a_0 - a_1x_{1i} - a_2x_{2i})x_{2i}$$

Los coeficientes que dan la suma mínima de los cuadrados de los residuos se obtienen al igualar a cero las derivadas parciales y expresando el resultado en forma matricial se tiene que:

$$\begin{bmatrix} n & \sum x_{1i} & \sum x_{2i} \\ \sum x_{1i} & \sum x_{1i}^2 & \sum x_{1i}x_{2i} \\ \sum x_{2i} & \sum x_{1i}x_{2i} & \sum x_{2i}^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \sum y_i \\ \sum x_{1i}y_i \\ \sum x_{2i}y_i \end{Bmatrix}$$

La regresión lineal múltiple tiene la utilidad de obtener ecuación en potencias en el caso de no tener una relación lineal

$$y = a_0x_1^{a_1}x_2^{a_2} \dots \dots x_m^{a_m}$$

Para utilizar la regresión lineal múltiple, la ecuación se transforma al aplicar logaritmos

$$\log y = \log a_0 + a_1 \log x_1 + a_2 \log x_2 + \dots \dots + a_m \log x_m$$

Se propone la ecuación de presiones como se muestra

$$P = a_0 x^{a_1} y^{a_2}$$

Para utilizar la regresión lineal múltiple, la ecuación se transforma al aplicar logaritmos

$$\log P = \log a_0 + a_1 \log x + a_2 \log y$$

Con los datos de las posiciones y aplicando el logaritmo de base 10 a cada dato de las muestras se generan las ecuaciones expresadas en forma matricial

$$\begin{bmatrix} n & \sum \log x_i & \sum \log y_i \\ \sum \log x_i & \sum \log x_i^2 & \sum \log x_i y_i \\ \sum \log y_i & \sum \log x_i y_i & \sum \log y_i^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \log a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \sum P_i \\ \sum x_i P_i \\ \sum y_i P_i \end{Bmatrix}$$

Se utiliza la herramienta de Matlab “Curve Fitting Tools” la cual nos ayuda a obtener la función de las presiones con respecto a la posición de cada uno de los grafos que se realizaron con los niños regulares, con espasticidad y atetosis.

4.3.2.3.1. Gráficas de presiones vs posición de un niño regular

TRIÁNGULO

Lo primero que realizamos es una regresión lineal múltiple de la función de presiones con respecto a las posiciones (x) y (y), que nos da la forma de la ecuación

- $f(x,y) = p00 + p10*x + p01*y + p20*x^2 + p11*x*y + p02*y^2 + p21*x^2*y + p12*x*y^2 + p03*y^3$

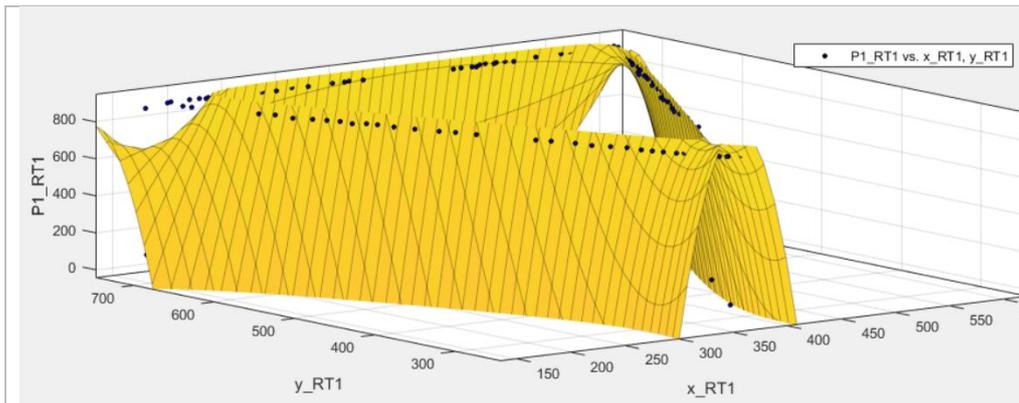
Con los coeficientes que se presentan en la tabla 8

Tabla 8. Coeficientes del polinomio para las ecuaciones de presión vs posición del triángulo para un niño regular.

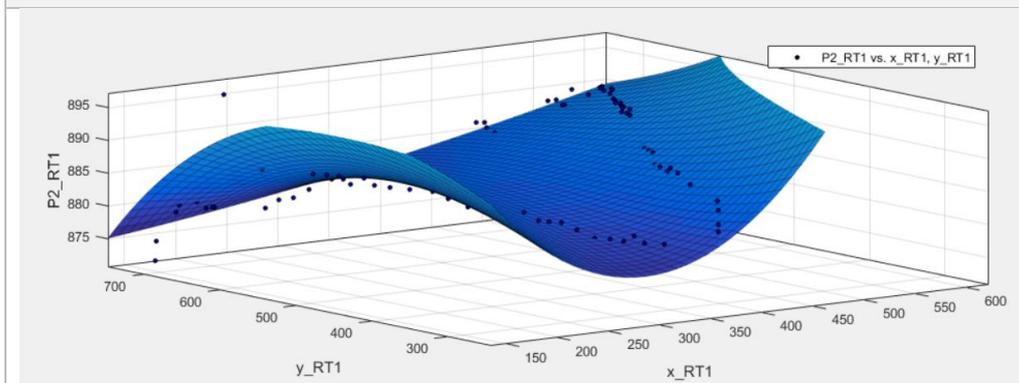
P1 vs x,y	P2 vs x,y	P3 vs x,y
p00 = 3258 (1840, 4675)	p00 = 884.1 (865.9, 902.3)	p00 = 817 (781.2, 852.8)
p10 = -762.4 (-1243, -281.5)	p10 = 2.219 (-3.956, 8.394)	p10 = 10.56 (-1.596, 22.71)
p01 = 137 (18.71, 255.3)	p01 = 0.014 (-1.505, 1.533)	p01 = 7.036 (4.046, 10.03)
p20 = -2106 (-3367, -845.4)	p20 = 4.053 (-12.14, 20.25)	p20 = 42.18 (10.31, 74.04)
p11 = 1109 (472.2, 1745)	p11 = -1.625 (-9.799, 6.549)	p11 = -19.7 (-35.79, -3.612)
p02 = -2094 (-3302, -886.8)	p02 = -1.114 (-16.62, 14.39)	p02 = 44.71 (14.19, 75.22)
p21 = 2159 (819.2, 3499)	p21 = -3.218 (-20.42, 13.99)	p21 = -47.12 (-80.98, -13.25)
p12 = -293.2 (-453, -133.5)	p12 = 2.819 (0.7675, 4.87)	p12 = 10.76 (6.724, 14.8)

$p03 = -711.7 (-1104, -319.4)$	$p03 = -0.7442 (-5.782, 4.294)$	$p03 = 13.99 (4.079, 23.91)$
--------------------------------	---------------------------------	------------------------------

Ahora la figura 34 es la representación en tres dimensiones de las presiones y la posición del grafo en el espacio, para un niño regular, en el eje z la magnitud de la presión y en el eje xy la posición del grafo triangular.



(a)



(b)

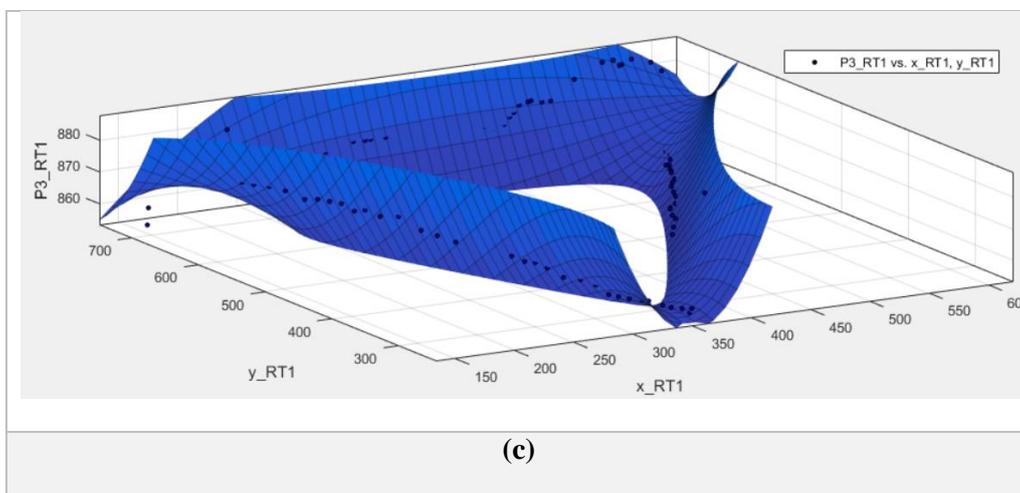


Figura 34. Gráficas de la relación de presiones y posición del triángulo (a) P1 (b) P2 (c) P3, para un niño regular.

CÍRCULO

Con la regresión lineal múltiple de la función de presiones con respecto a las posiciones (x) y (y), nos da la forma de la ecuación

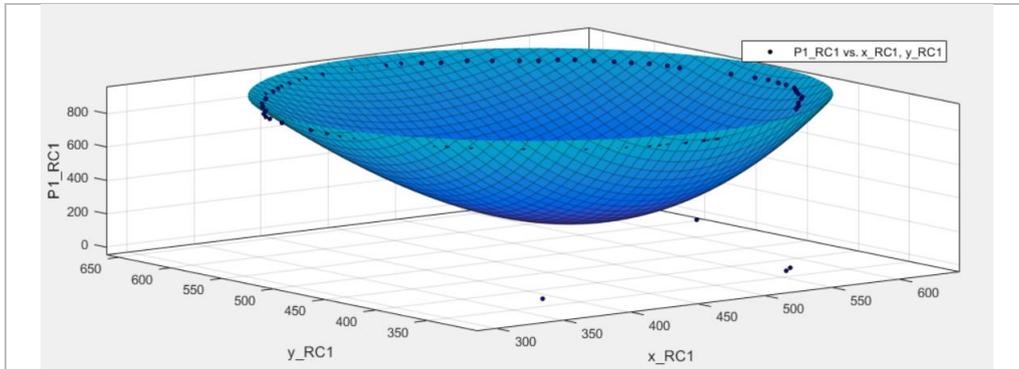
- $f(x,y) = p00 + p10*x + p01*y + p20*x^2 + p11*x*y + p02*y^2 + p21*x^2*y + p12*x*y^2 + p03*y^3$

Con los coeficientes que se presentan en la tabla 9

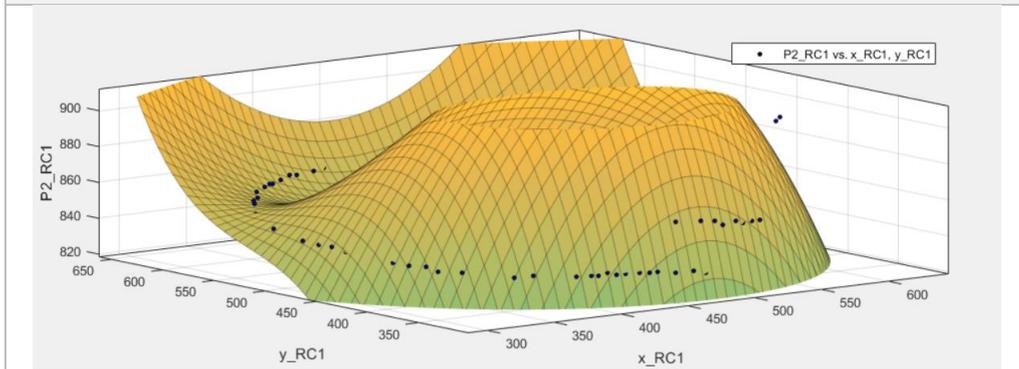
Tabla 9. Coeficientes del polinomio para las ecuaciones de presión vs posición del círculo para un niño regular.

P1 vs x,y	P2 vs x,y	P3 vs x,y
p00 = 261.1 (-1309, 1831)	p00 = 936.8 (862.8, 1011)	p00 = 855.5 (806.1, 905)
p10 = -5.617 (-70.35, 59.12)	p10 = 1.045 (-2.009, 4.099)	p10 = 1.242 (-0.797, 3.28)
p01 = 112.6 (-1813, 2038)	p01 = -87.48 (-178.3, 3.358)	p01 = -8.171 (-68.81, 52.47)
p20 = 270.3 (-438.5, 979.2)	p20 = -38.85 (-72.29, -5.414)	p20 = -14.32 (-36.65, 7.998)
p11 = 5.295 (-81.96, 92.55)	p11 = -7.009 (-11.13, -2.893)	p11 = -3.154 (-5.902, -0.4064)
p02 = 377.4 (-539.6, 1294)	p02 = -67.16 (-110.4, -23.91)	p02 = -18.64 (-47.51, 10.24)
p21 = -79.2 (-953.1, 794.7)	p21 = 48.27 (7.048, 89.5)	p21 = 8.94 (-18.58, 36.46)
p12 = -6.008 (-97.99, 85.97)	p12 = 6.423 (2.083, 10.76)	p12 = 5.554 (2.658, 8.451)
p03 = -108.9 (-1158, 940.4)	p03 = 59.56 (10.06, 109.1)	p03 = 12.02 (-21.02, 45.06)

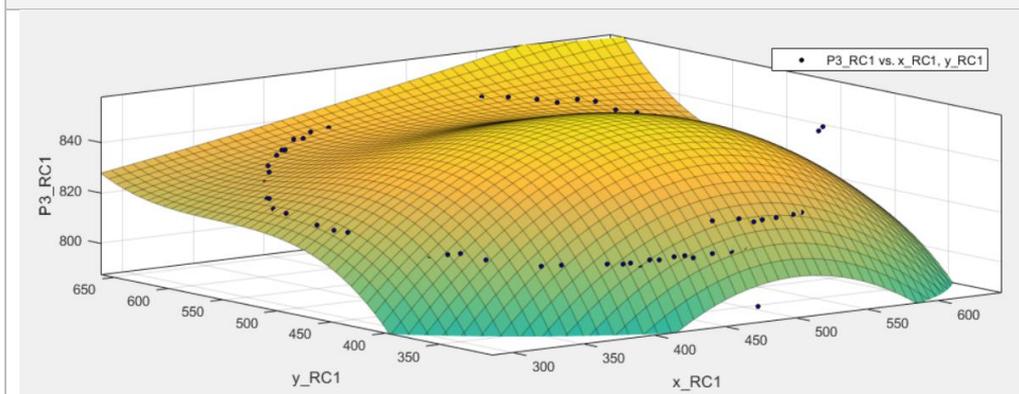
La figura 35 es la representación en tres dimensiones de las presiones y la posición del grafo en el espacio, para un niño regular, en el eje z la magnitud de la presión y en el eje xy la posición del grafo círculo



(a)



(b)



(c)

Figura 35. Gráficas de la relación de presiones y posición del círculo (a) P1 (b) P2 (c) P3, para un niño regular.

CUADRADO

Con una regresión lineal múltiple de la función de presiones con respecto a las posiciones (x) y (y), nos da la forma de la ecuación

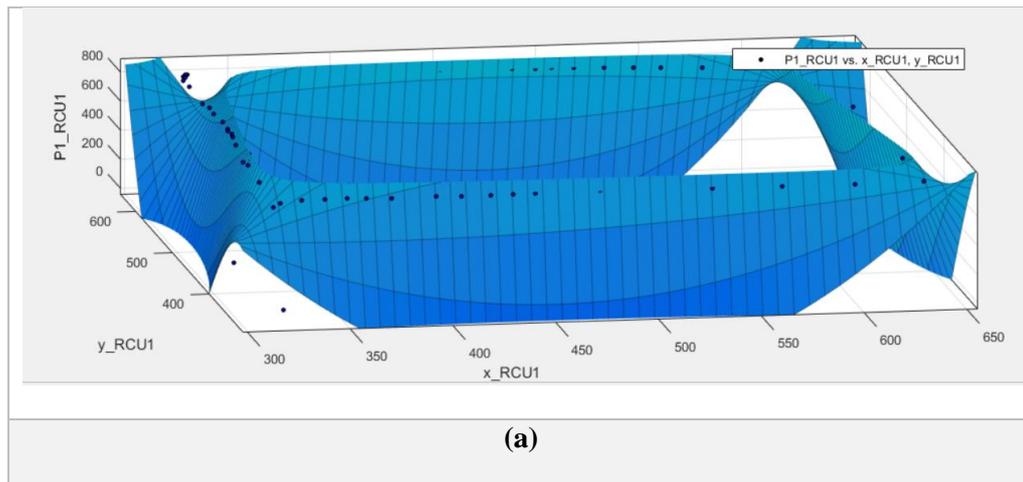
- $f(x,y) = p00 + p10*x + p01*y + p20*x^2 + p11*x*y + p02*y^2 + p21*x^2*y + p12*x*y^2 + p03*y^3 + p22*x^2*y^2 + p13*x*y^3 + p04*y^4$

Con los coeficientes que se presentan en la tabla 10

Tabla 10. Coeficientes del polinomio para las ecuaciones de presión vs posición del círculo para un niño regular.

P1 vs x,y	P2 vs x,y	P3 vs x,y
p00 = 4291 (1695, 6886)	p00 = 708.5 (456.5, 960.5)	p00 = 680.7 (494.3, 867.2)
p10 = 1303 (302.8, 2302)	p10 = -60.23 (-157.3, 36.82)	p10 = -57.49 (-129.3, 14.31)
p01 = -1561 (-2426, -696)	p01 = 13.96 (-70.03, 97.95)	p01 = 0.8831 (-61.25, 63.02)
p20 = -2659 (-4463, -855.1)	p20 = 47.93 (-127.2, 223)	p20 = 34.13 (-95.42, 163.7)
p11 = -378.2 (-690.3, -66.08)	p11 = 41.3 (11, 71.6)	p11 = 37.17 (14.76, 59.59)
p02 = -2099 (-3909, -288.8)	p02 = 43.74 (-132, 219.4)	p02 = 52.29 (-77.7, 182.3)
p21 = 782.1 (258.5, 1306)	p21 = -3.367 (-54.2, 47.46)	p21 = -7.804 (-45.41, 29.8)
p12 = -856.2 (-1622, -90.46)	p12 = 19.28 (-55.05, 93.61)	p12 = 20.74 (-34.26, 75.73)
p03 = 275.8 (-95.24, 646.8)	p03 = -3.791 (-39.81, 32.23)	p03 = 3.494 (-23.15, 30.14)
p22 = 1781 (551.5, 3011)	p22 = -30.97 (-150.4, 88.42)	p22 = -20.21 (-108.5, 68.12)
p13 = -20.52 (-258.4, 217.3)	p13 = -28.44 (-51.53, -5.347)	p13 = -19.48 (-36.56, -2.394)
p04 = -130.2 (-547.7, 287.2)	p04 = -18.22 (-58.74, 22.3)	p04 = -25.32 (-55.3, 4.655)

La figura 36 es la representación en tres dimensiones de las presiones y la posición del grafo en el espacio, para un niño regular, en el eje z la magnitud de la presión y en el eje xy la posición del grafo cuadrado



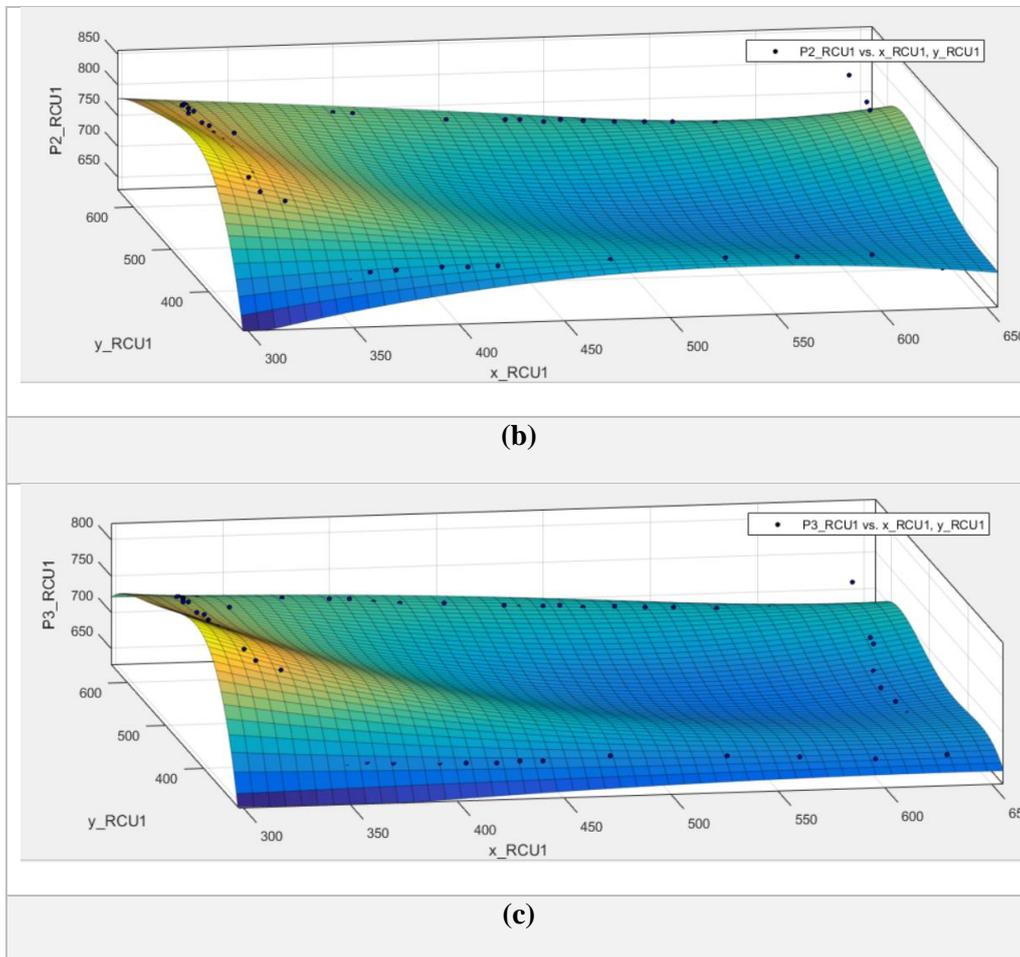


Figura 36. Gráficas de la relación de presiones y posición del cuadrado (a) P1 (b) P2 (c) P3, para un niño regular.

4.3.2.3.2. Gráficas de presiones vs posición de un niño con espasticidad

TRIÁNGULO

Con una regresión lineal múltiple de la función de presiones con respecto a las posiciones (x) y (y), nos da la forma de la ecuación

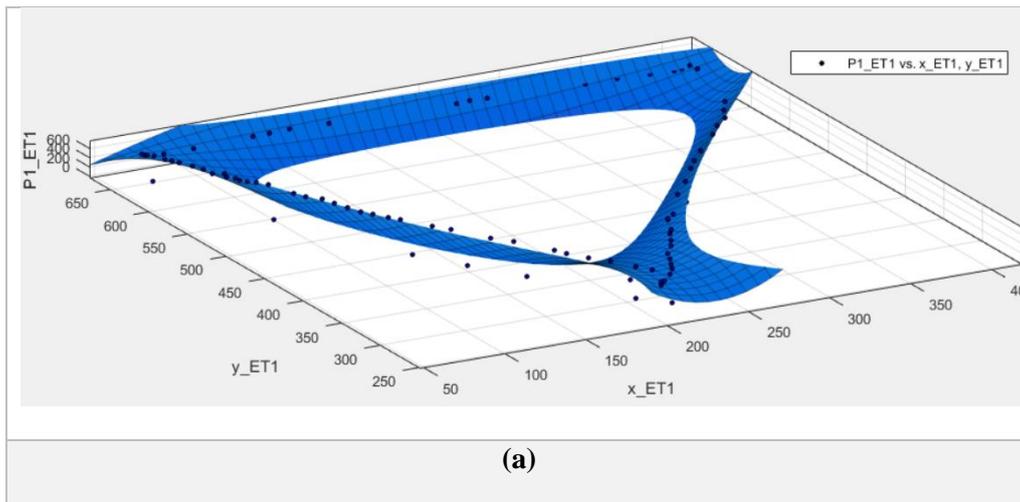
- $$f(x, y) = p00 + p10*x + p01*y + p20*x^2 + p11*x*y + p02*y^2 + p21*x^2*y + p12*x*y^2 + p03*y^3 + p22*x^2*y^2 + p13*x*y^3 + p04*y^4$$

Con los coeficientes que se presentan en la tabla 11

Tabla 11. Coeficientes del polinomio para las ecuaciones de presión vs posición del triángulo para un niño regular.

P1 vs x,y	P2 vs x,y	P3 vs x,y
p00 = -1264 (-3073, 545.5)	p00 = -183.8 (-286.1, -81.47)	p00 = 818.1 (158.7, 1478)
p10 = -896.6 (-1750, -42.87)	p10 = -89.15 (-137.4, -40.87)	p10 = 403.4 (92.28, 714.6)
p01 = -1105 (-3328, 1119)	p01 = -164.5 (-290.2, -38.74)	p01 = 407 (-403.4, 1217)
p20 = 1679 (46.41, 3311)	p20 = 165.7 (73.33, 258)	p20 = -437.4 (-1032, 157.6)
p11 = -238.6 (-1309, 831.5)	p11 = -46.82 (-107.3, 13.7)	p11 = 27.67 (-362.3, 417.7)
p02 = 1041 (-533.3, 2616)	p02 = 106.3 (17.25, 195.4)	p02 = -475.9 (-1050, 98.06)
p21 = -1002 (-3314, 1309)	p21 = -60.82 (-191.6, 69.92)	p21 = 42.87 (-799.7, 885.4)
p12 = 345.9 (-215.9, 907.7)	p12 = 62.24 (30.47, 94.02)	p12 = 112.8 (-92, 317.5)
p03 = 704.6 (-726.1, 2135)	p03 = 142.8 (61.89, 223.7)	p03 = -314.6 (-836, 206.8)
p22 = -242.6 (-1801, 1315)	p22 = -75.01 (-163.1, 13.11)	p22 = 261.8 (-306, 829.7)
p13 = 368.1 (-113, 849.1)	p13 = 60.55 (33.34, 87.75)	p13 = -346.5 (-521.8, -171.2)
p04 = 56.79 (-644.9, 758.4)	p04 = 37.13 (-2.557, 76.81)	p04 = -11.7 (-267.4, 244)

La figura 37 es la representación en tres dimensiones de las presiones y la posición del grafo en el espacio, para un niño con espasticidad, en el eje z la magnitud de la presión y en el eje xy la posición del grafo triángulo.



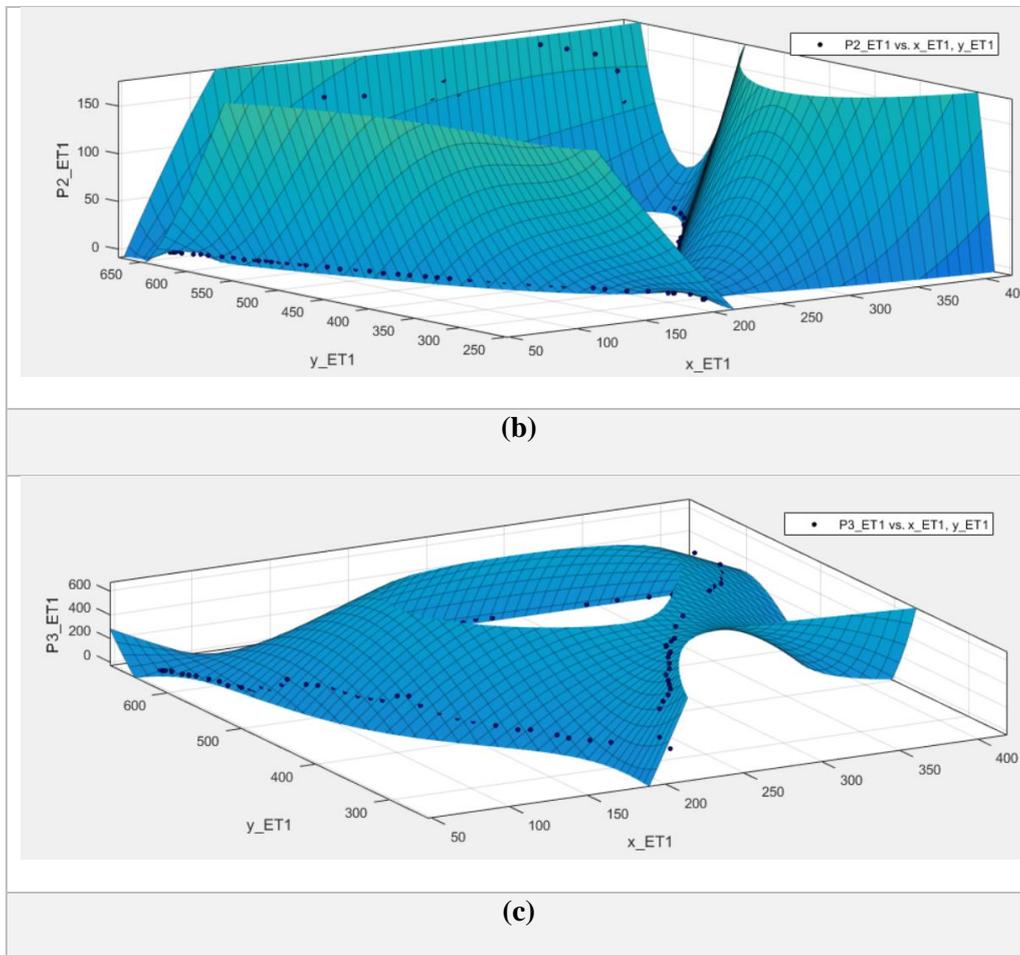


Figura 37. Gráficas de la relación de presiones y posición del triángulo (a) P1 (b) P2 (c) P3, para un niño con espasticidad.

CÍRCULO

Con es una regresión lineal múltiple de la función de presiones con respecto a las posiciones (x) y (y), nos da la forma de la ecuación

$$f(x,y) = p00 + p10*x + p01*y + p20*x^2 + p11*x*y + p02*y^2 + p21*x^2*y + p12*x*y^2 + p03*y^3 + p22*x^2*y^2 + p13*x*y^3 + p04*y^4$$

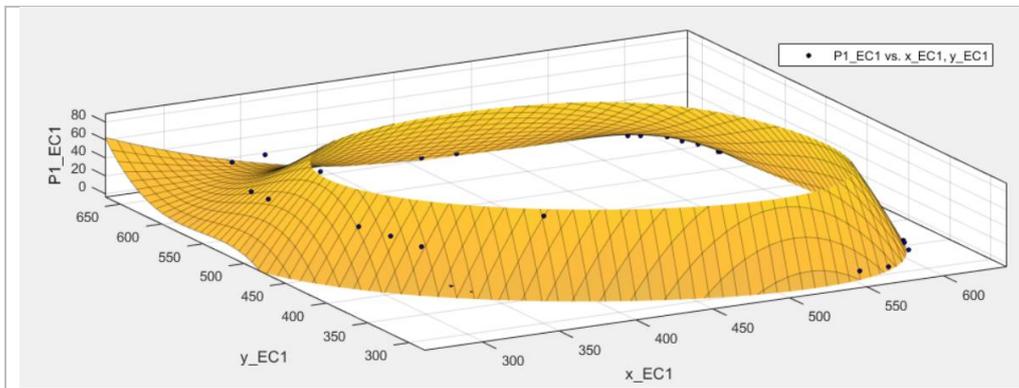
Con los coeficientes que se presentan en la tabla 12

Tabla 12. Coeficientes del polinomio para las ecuaciones de presión vs posición del círculo para un niño regular.

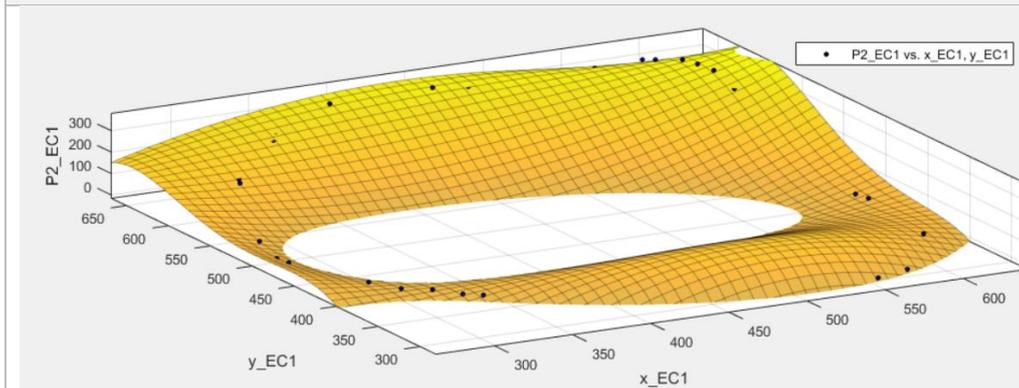
P1 vs x,y	P2 vs x,y	P3 vs x,y
-----------	-----------	-----------

p00 = 175.4 (-217.3, 568.1)	p00 = -136.4 (-586.4, 313.6)	p00 = -0 (-0, 0)
p10 = -52.41 (-129.6, 24.74)	p10 = 89.72 (1.325, 178.1)	p10 = 0 (0, 0)
p01 = -171.8 (-391.5, 47.88)	p01 = 144.9 (-106.8, 396.7)	p01 = 0 (0, 0)
p20 = -107 (-366.3, 152.3)	p20 = 135.9 (-161.2, 433)	p20 = -0 (-0, 0)
p11 = 32.42 (-17.45, 82.29)	p11 = 113.1 (55.92, 170.2)	p11 = -0 (-0, 0)
p02 = -27.55 (-322.1, 267)	p02 = 436.5 (98.96, 774.1)	p02 = -0 (-0, 0)
p21 = 106.3 (-22.74, 235.4)	p21 = 20.67 (-127.2, 168.6)	p21 = 0 (0, 0)
p12 = 46.09 (-34.11, 126.3)	p12 = -42.38 (-134.3, 49.52)	p12 = -0 (-0, 0)
p03 = 55.93 (-33.65, 145.5)	p03 = -36.66 (-139.3, 65.98)	p03 = -0 (-0, 0)
p22 = -4.024 (-125.2, 117.1)	p22 = -156.4 (-295.2, -17.63)	p22 = -0 (-0, 0)
p13 = -37.4 (-95.54, 20.75)	p13 = -90.66 (-157.3, -24.04)	p13 = 0 (0, 0)
p04 = -16.1 (-73.29, 41.09)	p04 = -130.9 (-196.5, -65.41)	p04 = -0 (-0, 0)

La figura 38 es la representación en tres dimensiones de las presiones y la posición del grafo en el espacio, para un niño con espasticidad, en el eje z la magnitud de la presión y en el eje xy la posición del grafo círculo.



(a)



(b)

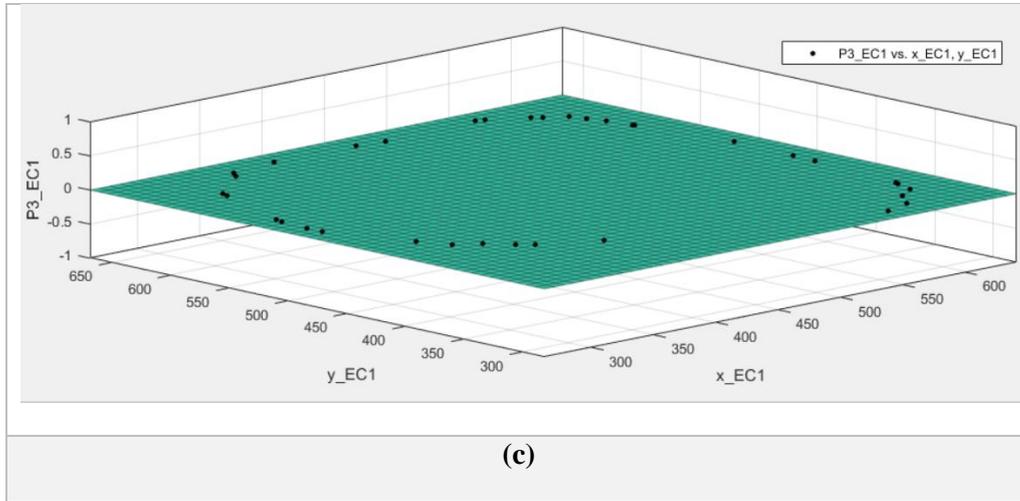


Figura 38. Gráficas de la relación de presiones y posición del círculo (a) P1 (b) P2 (c) P3, para un niño con espasticidad.

CUADRADO

Con una regresión lineal múltiple de la función de presiones con respecto a las posiciones (x) y (y), que nos da la forma de la ecuación

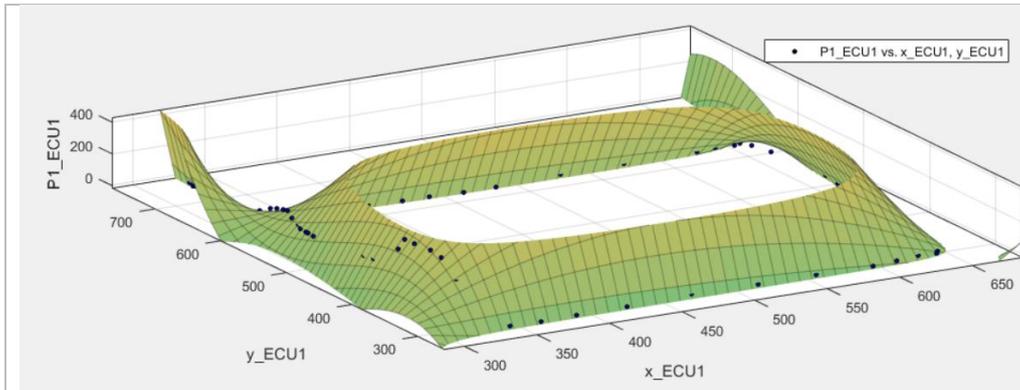
- $$f(x,y) = p00 + p10*x + p01*y + p20*x^2 + p11*x*y + p02*y^2 + p21*x^2*y + p12*x*y^2 + p03*y^3 + p22*x^2*y^2 + p13*x*y^3 + p04*y^4$$

Con los coeficientes que se presentan en la tabla 13

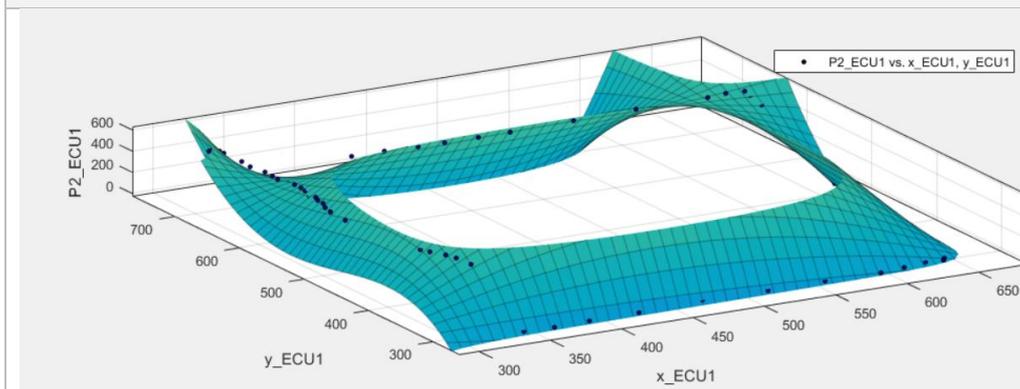
Tabla 13. Coeficientes del polinomio para las ecuaciones de presión vs posición del círculo para un niño regular.

P1 vs x,y	P2 vs x,y	P3 vs x,y
p00 = 1222 (826.4, 1617)	p00 = 1508 (1024, 1993)	p00 = -0 (-0, 0)
p10 = 534 (321.8, 746.2)	p10 = 409.6 (149.7, 669.5)	p10 = 0 (0, 0)
p01 = -864 (-1118, -609.9)	p01 = -654.3 (-965.5, -343)	p01 = 0 (0, 0)
p20 = -794.5 (-1075, -514.3)	p20 = -829.6 (-1173, -486.4)	p20 = -0 (-0, 0)
p11 = -228.4 (-351.5, -105.4)	p11 = -96.8 (-247.6, 53.96)	p11 = -0 (-0, 0)
p02 = -992.8 (-1366, -619.4)	p02 = -830.6 (-1288, -373.2)	p02 = 0 (0, 0)
p21 = 515.6 (341, 690.2)	p21 = 420.8 (206.9, 634.7)	p21 = 0 (0, 0)
p12 = -605.2 (-813.7, -396.7)	p12 = -358.7 (-614.2, -103.3)	p12 = -0 (-0, 0)
p03 = 96.38 (51.46, 141.3)	p03 = 189.8 (134.8, 244.8)	p03 = -0 (-0, 0)
p22 = 745.4 (489.5, 1001)	p22 = 694 (380.6, 1007)	p22 = 0 (0, 0)
p13 = -117.1 (-168.1, -66.04)	p13 = -45.2 (-107.7, 17.28)	p13 = -0 (-0, 0)
p04 = -30.25 (-64.8, 4.303)	p04 = -37.93 (-80.26, 4.389)	p04 = -0 (-0, 0)

La figura 39 es la representación en tres dimensiones de las presiones y la posición del grafo en el espacio, para un niño con espasticidad, en el eje z la magnitud de la presión y en el eje xy la posición del grafo cuadrado.



(a)



(b)

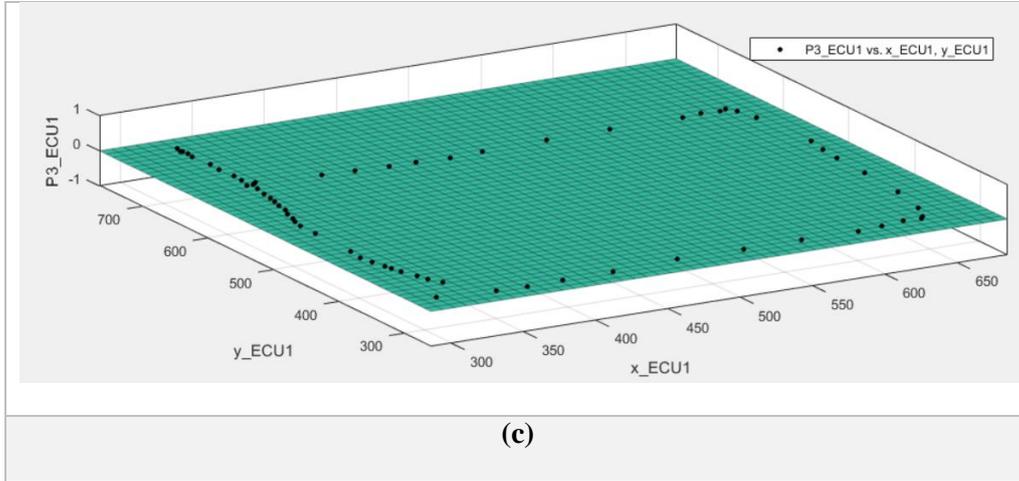


Figura 39. Gráficas de la relación de presiones y posición del cuadrado (a) P1 (b) P2 (c) P3, para un niño con espasticidad.

4.3.2.3.3. Gráficas de presiones vs posición de un niño con atetosis

TRIÁNGULO

Con una regresión lineal múltiple de la función de presiones con respecto a las posiciones (x) y (y), que nos da la forma de la ecuación

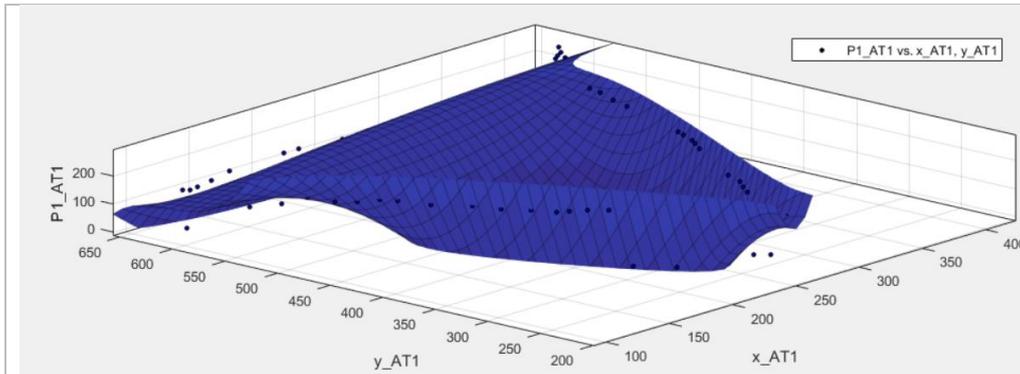
- $$f(x,y) = p00 + p10*x + p01*y + p20*x^2 + p11*x*y + p02*y^2 + p21*x^2*y + p12*x*y^2 + p03*y^3 + p22*x^2*y^2 + p13*x*y^3 + p04*y^4$$

Con los coeficientes que se presentan en la tabla 14

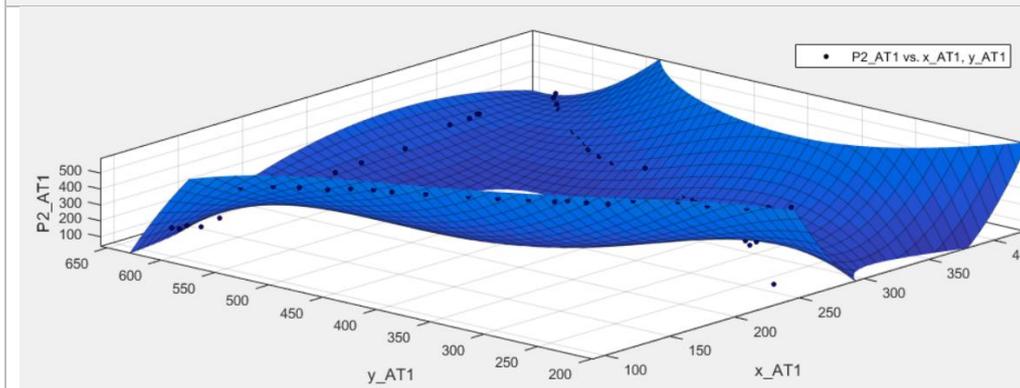
Tabla 14. Coeficientes del polinomio para las ecuaciones de presión vs posición del triángulo para un niño regular.

P1 vs x,y	P2 vs x,y	P3 vs x,y
p00 = -151.6 (-611.7, 308.5)	p00 = -41.28 (-472.9, 390.4)	p00 = 296.8 (-10.57, 604.1)
p10 = 127.2 (-12.25, 266.6)	p10 = -28.12 (-158.9, 102.7)	p10 = -74.03 (-167.2, 19.11)
p01 = 655 (177.3, 1133)	p01 = 4.915 (-443.2, 453.1)	p01 = -275.5 (-594.6, 43.53)
p20 = 330.1 (-106.5, 766.7)	p20 = 376.7 (-32.96, 786.3)	p20 = -154.6 (-446.3, 137)
p11 = -181.8 (-383.8, 20.24)	p11 = -45.19 (-234.7, 144.4)	p11 = 85.74 (-49.21, 220.7)
p02 = 224.8 (-126.7, 576.3)	p02 = 207.7 (-122, 537.5)	p02 = -49.19 (-284, 185.6)
p21 = -832.1 (-1409, -255)	p21 = -313.2 (-854.7, 228.2)	p21 = 308.6 (-76.93, 694.1)
p12 = 122.6 (-15.15, 260.3)	p12 = -32.75 (-162, 96.45)	p12 = -41.26 (-133.3, 50.73)
p03 = -422.4 (-775.9, -68.85)	p03 = 20.5 (-311.2, 352.2)	p03 = 291 (54.82, 527.1)
p22 = 509.7 (92.39, 927)	p22 = -51.28 (-442.8, 340.3)	p22 = -213.4 (-492.2, 65.32)
p13 = -42.2 (-118.1, 33.74)	p13 = 127.3 (56.05, 198.6)	p13 = -12.32 (-63.05, 38.41)
p04 = -157.7 (-273.7, -41.84)	p04 = -17.44 (-126.2, 91.3)	p04 = 112.9 (35.49, 190.3)

La figura 40 es la representación en tres dimensiones de las presiones y la posición del grafo en el espacio, para un niño con atetosis, en el eje z la magnitud de la presión y en el eje xy la posición del grafo triángulo.



(a)



(b)

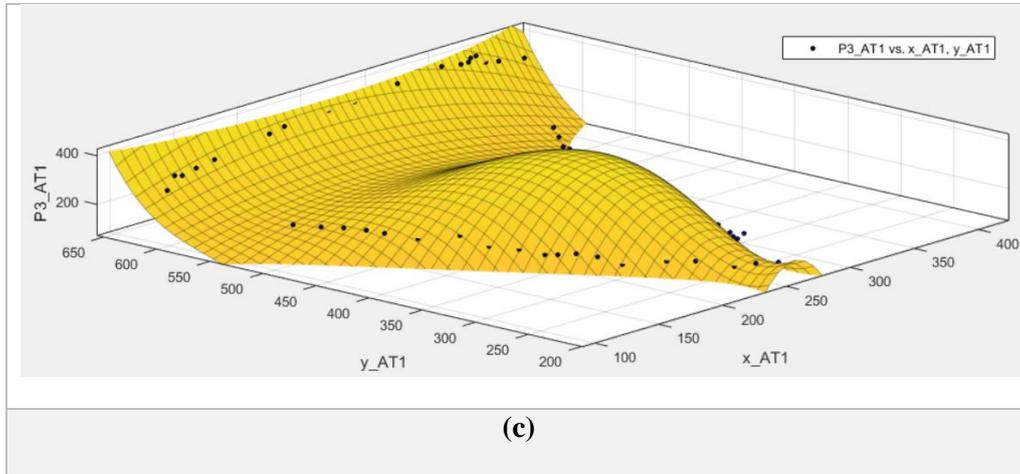


Figura 40. Gráficas de la relación de presiones y posición del triángulo (a) P1 (b) P2 (c) P3, para un niño con atetosis.

CÍRCULO

Con una regresión lineal múltiple de la función de presiones con respecto a las posiciones (x) y (y), nos da la forma de la ecuación

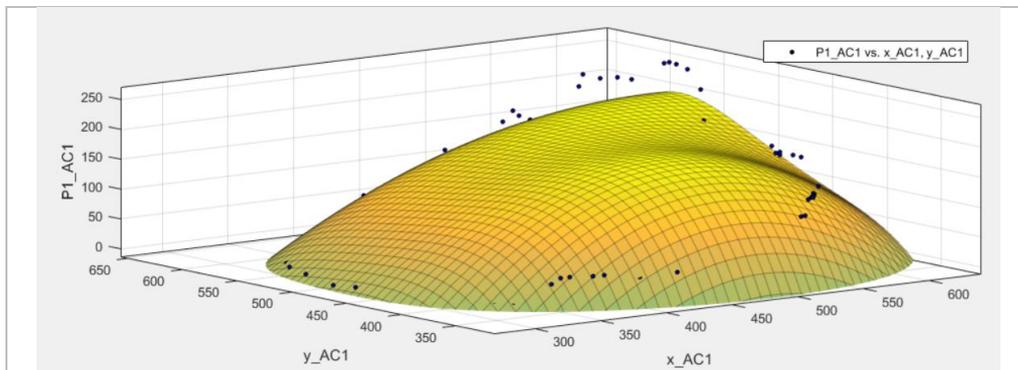
- $f(x, y) = p00 + p10*x + p01*y + p20*x^2 + p11*x*y + p02*y^2 + p21*x^2*y + p12*x*y^2 + p03*y^3 + p22*x^2*y^2 + p13*x*y^3 + p04*y^4$

Con los coeficientes que se presentan en la tabla 15

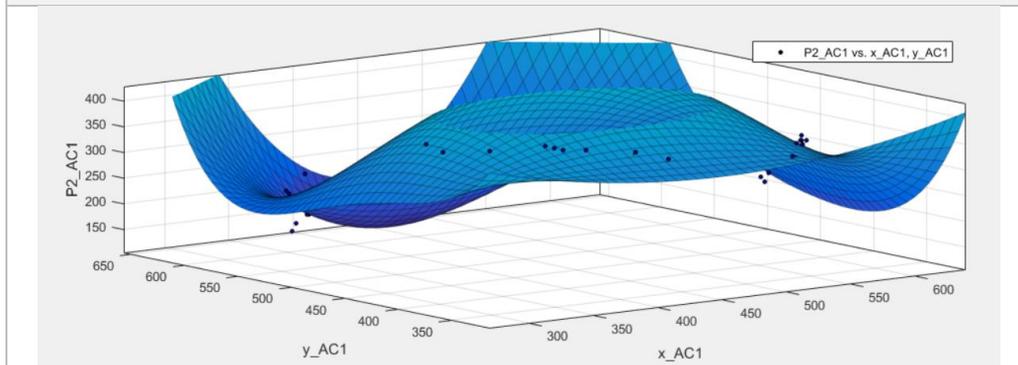
Tabla 15. Coeficientes del polinomio para las ecuaciones de presión vs posición del círculo para un niño regular.

P1 vs x,y	P2 vs x,y	P3 vs x,y
p00 = 173.9 (-463.6, 811.4)	p00 = 410.6 (147.4, 673.7)	p00 = 229.3 (-157.9, 616.4)
p10 = 17.44 (-184.1, 219)	p10 = -58 (-141.2, 25.2)	p10 = 36.5 (-85.9, 158.9)
p01 = -7.724 (-308.7, 293.3)	p01 = -240.4 (-364.7, -116.2)	p01 = 287.1 (104.3, 469.8)
p20 = -45.37 (-343.5, 252.8)	p20 = -66.29 (-189.4, 56.79)	p20 = 17.7 (-163.4, 198.8)
p11 = 51.63 (-72.76, 176)	p11 = 120.7 (69.34, 172)	p11 = 18.72 (-56.82, 94.26)
p02 = 21.94 (-697.9, 741.8)	p02 = -179.7 (-476.8, 117.4)	p02 = 71.06 (-366.1, 508.2)
p21 = 25.23 (-107.9, 158.4)	p21 = 97.36 (42.39, 152.3)	p21 = -13.41 (-94.27, 67.45)
p12 = 10.7 (-107.6, 129)	p12 = 74.87 (26.04, 123.7)	p12 = -5.941 (-77.78, 65.9)
p03 = -10.8 (-184.9, 163.3)	p03 = 98.37 (26.51, 170.2)	p03 = -85.09 (-190.8, 20.63)
p22 = -7.338 (-193.1, 178.4)	p22 = 92.85 (16.18, 169.5)	p22 = -5.445 (-118.2, 107.3)
p13 = -6.57 (-52.14, 39)	p13 = -16.66 (-35.47, 2.154)	p13 = -14.08 (-41.75, 13.6)
p04 = -47.5 (-268.3, 173.3)	p04 = 63.77 (-27.38, 154.9)	p04 = -25.06 (-159.2, 109)

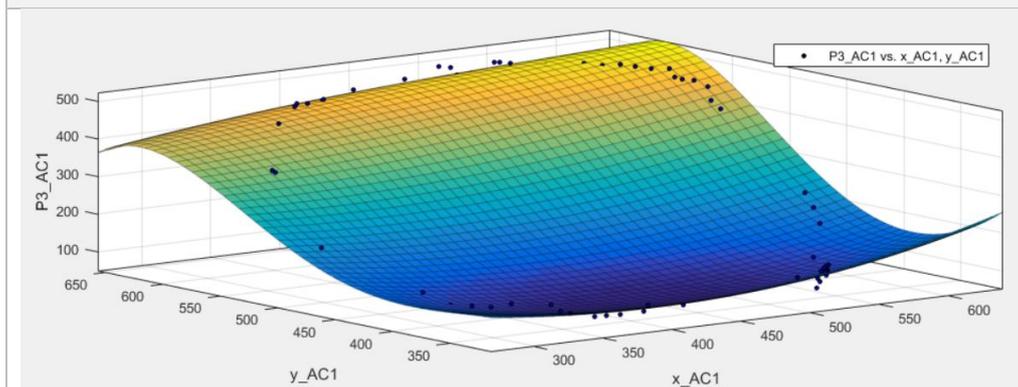
La figura 41 es la representación en tres dimensiones de las presiones y la posición del grafo en el espacio, para un niño con atetosis, en el eje z la magnitud de la presión y en el eje xy la posición del grafo círculo



(a)



(b)



(c)

Figura 41. Gráficas de la relación de presiones y posición del círculo (a) P1 (b) P2 (c) P3, para un niño con atetosis.

CUADRADO

Con una regresión lineal múltiple de la función de presiones con respecto a las posiciones (x) y (y), que nos da la forma de la ecuación

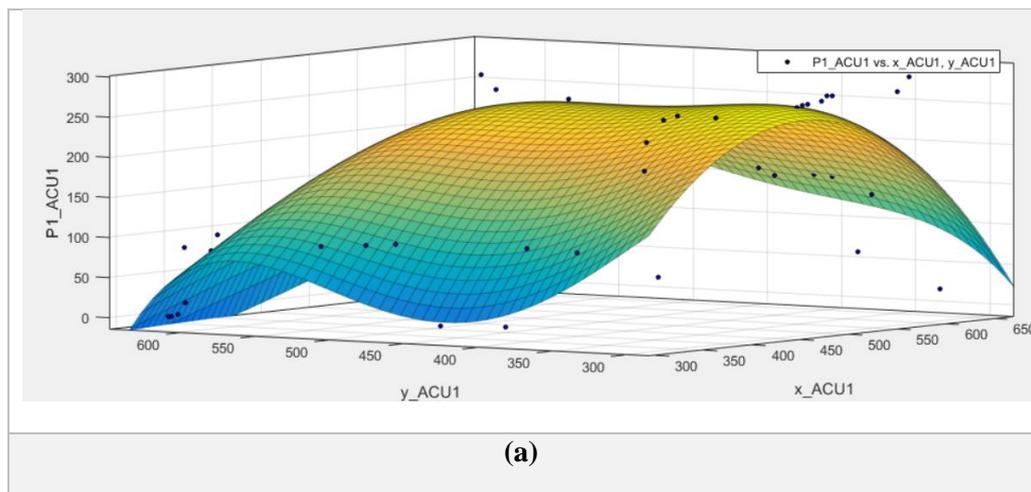
- $f(x, y) = p00 + p10*x + p01*y + p20*x^2 + p11*x*y + p02*y^2 + p21*x^2*y + p12*x*y^2 + p03*y^3 + p22*x^2*y^2 + p13*x*y^3 + p04*y^4$

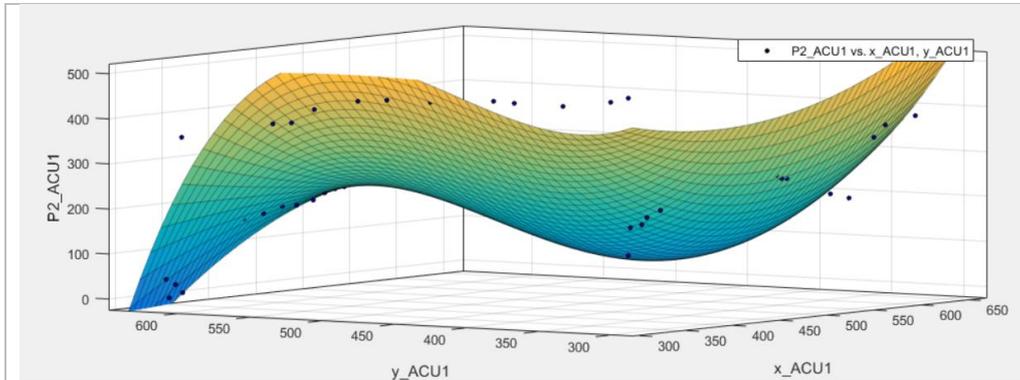
Con los coeficientes que se presentan en la tabla 16

Tabla 16. Coeficientes del polinomio para las ecuaciones de presión vs posición del círculo para un niño regular.

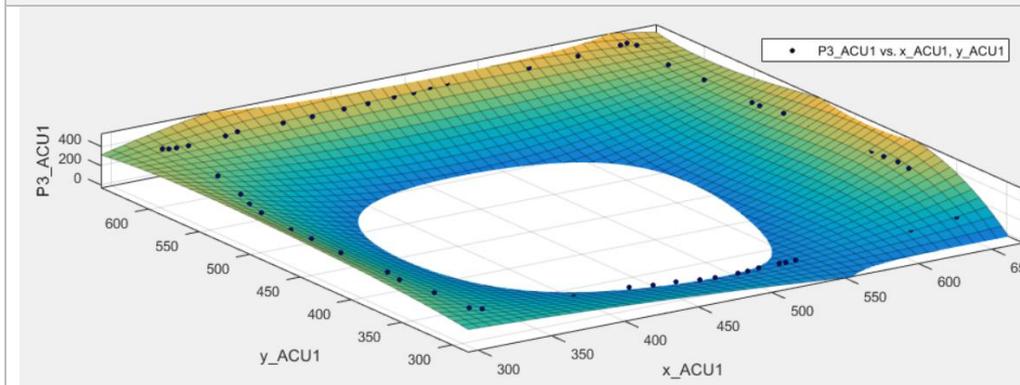
P1 vs x, y	P2 vs x, y	P3 vs x, y
p00 = 247.4 (-388.5, 883.3)	p00 = 126.3 (-571.2, 823.8)	p00 = -246.4 (-696.9, 204.1)
p10 = 40.47 (15.97, 64.96)	p10 = -144.5 (-171.3, -117.6)	p10 = 66.1 (48.75, 83.46)
p01 = -2.007 (-89.92, 85.9)	p01 = 131.3 (34.92, 227.8)	p01 = 97.03 (34.76, 159.3)
p20 = -78.85 (-468.9, 311.1)	p20 = 111.5 (-316.2, 539.2)	p20 = 351.3 (75.05, 627.6)
p11 = -5.706 (-63.57, 52.16)	p11 = -8.859 (-72.32, 54.61)	p11 = -77.84 (-118.8, -36.85)
p02 = -1.95 (-595.5, 591.6)	p02 = 81.48 (-569.5, 732.4)	p02 = 376.5 (-43.93, 796.9)
p21 = 36.75 (12.43, 61.08)	p21 = -52.81 (-79.49, -26.14)	p21 = -81.96 (-99.19, -64.73)
p12 = -11.78 (-37.43, 13.88)	p12 = 137.2 (109.1, 165.3)	p12 = -46.5 (-64.67, -28.32)
p03 = -56.28 (-118.9, 6.344)	p03 = -120.5 (-189.2, -51.79)	p03 = 93.99 (49.62, 138.3)
p22 = 20.96 (-278.2, 320.1)	p22 = -63.14 (-391.2, 264.9)	p22 = -235.6 (-447.5, -23.73)
p13 = 20.96 (-27.3, 69.22)	p13 = 25.36 (-27.56, 78.29)	p13 = 73.96 (39.77, 108.1)
p04 = -37 (-153.1, 79.1)	p04 = -7.89 (-135.2, 119.4)	p04 = -12.93 (-95.17, 69.32)

La figura 42 es la representación en tres dimensiones de las presiones y la posición del grafo en el espacio, para un niño con atetosis, en el eje z la magnitud de la presión y en el eje xy la posición del grafo cuadrado.





(b)

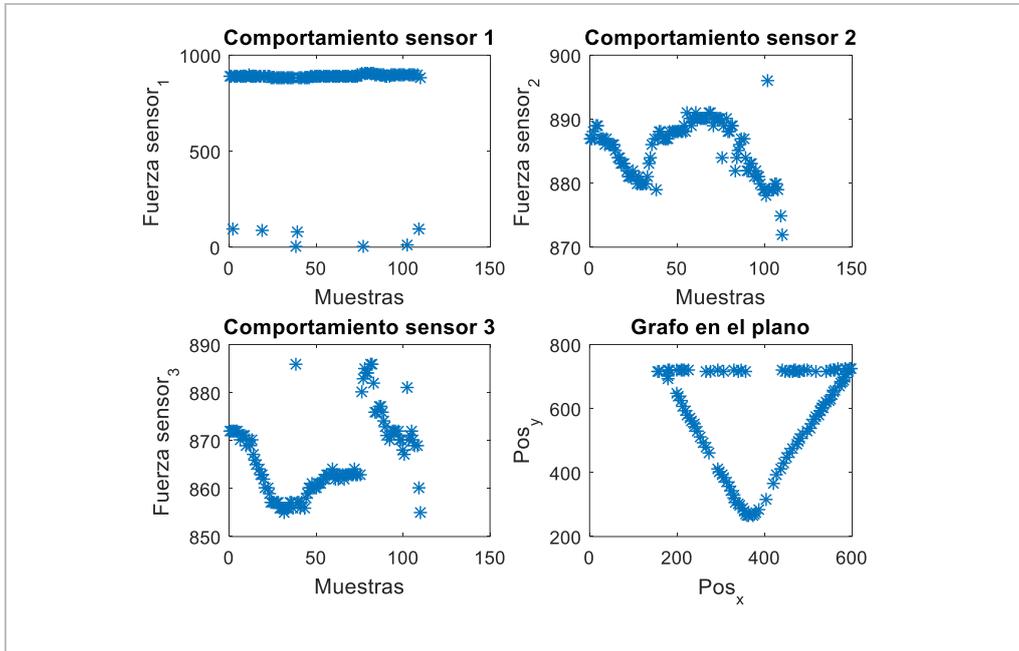


(c)

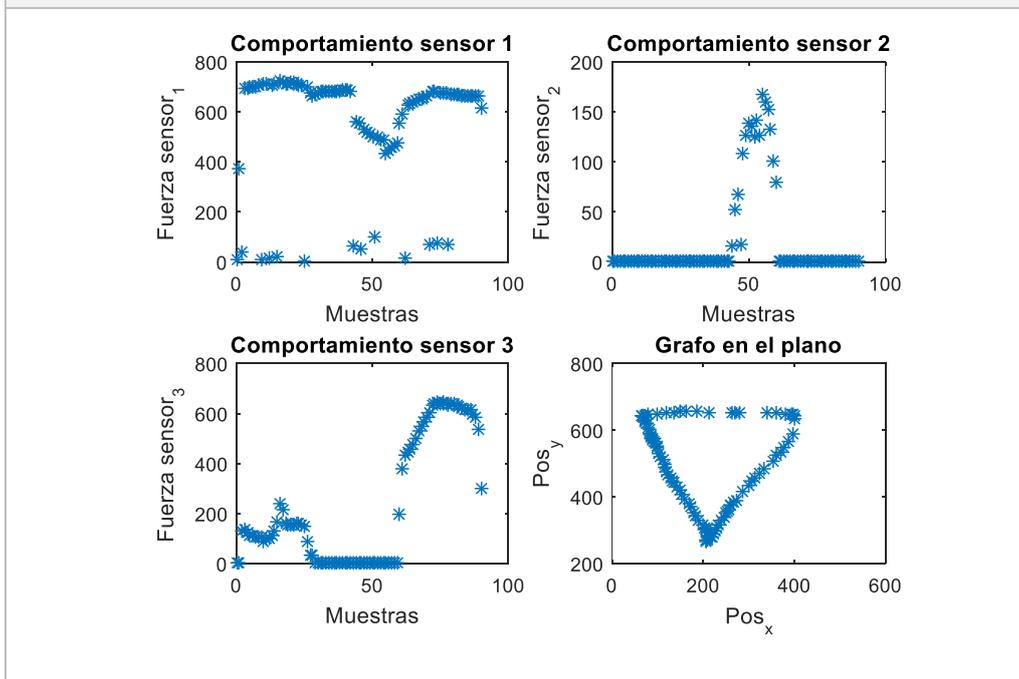
Figura 42. Gráficas de la relación de presiones y posición del cuadrado (a) P1 (b) P2 (c) P3, para un niño con atetosis.

4.3.2.4. Relación entre grafos de niños regulares, con atetosis y con espasticidad

Se va tomar como referencia el grafo de TRIÁNGULO para la relación que existe de los descriptores obtenidos para niños regulares, con espasticidad y con atetosis.



(a)



(b)

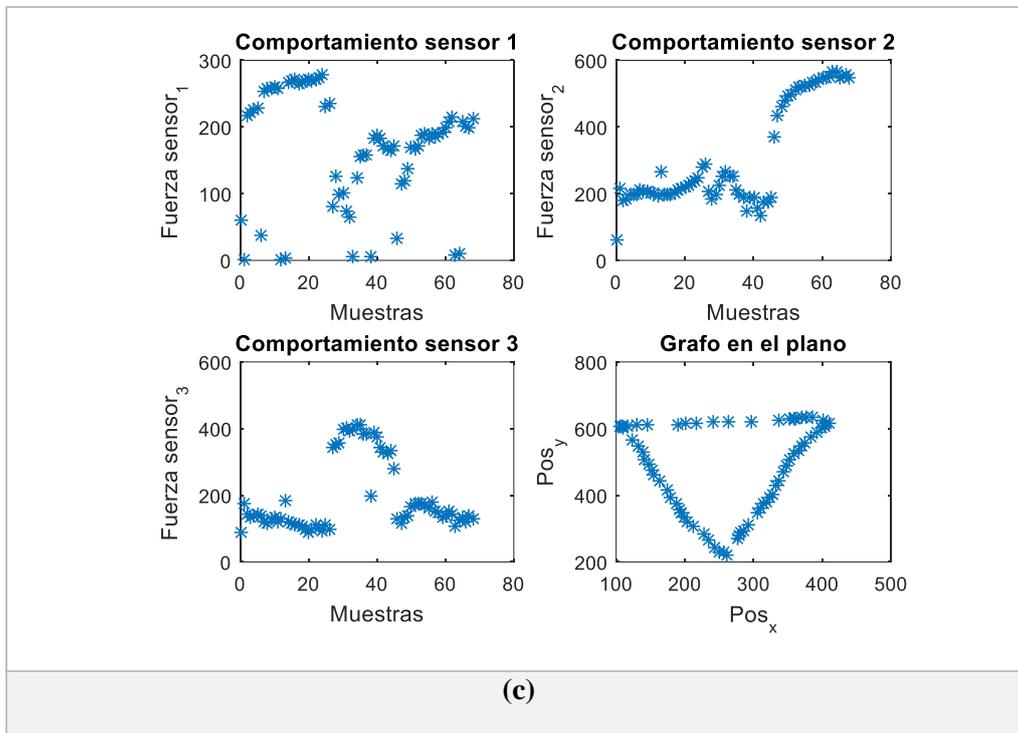
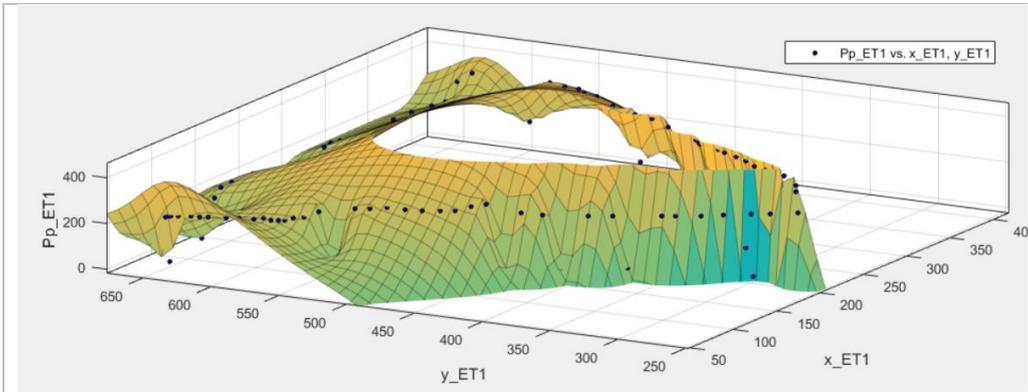


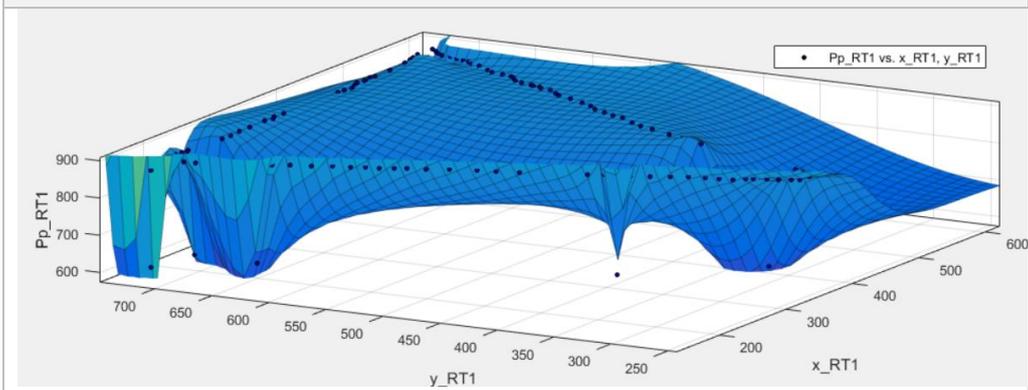
Figura 43. Gráficas de los grafos de niños a) regulares, b) con espasticidad y c) con atetosis del triángulo en el plano.

La dispersión de las muestras de presión en los sensores de los niños con espasticidad y atetosis es mucho mayor que para los regulares. Como estándar se toma a los niños regulares y se comprueba por la gráfica que los niños con espasticidad tienen movimientos rígidos afectando el control de fuerza en los sensores, y el de atetosis tiene reflejos involuntarios de trazos los mismo que se evidencian en la gráfica, se tiene cambios bruscos.

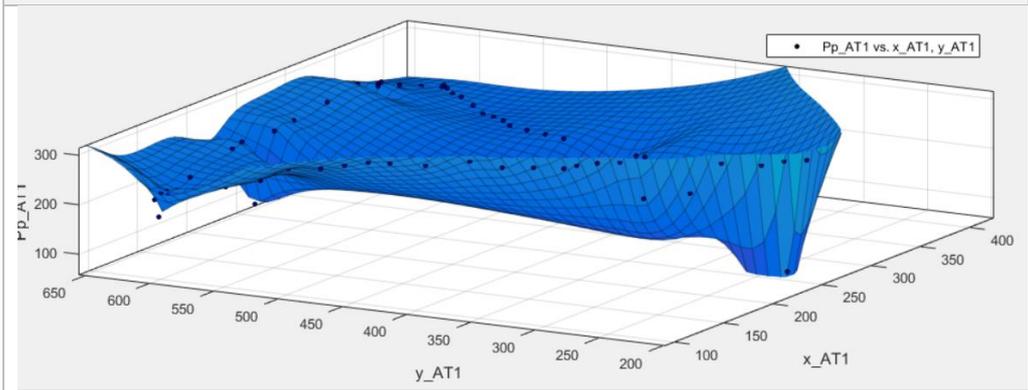
Se va tomar como referencia el grafo de TRIÁNGULO para la relación que existe de los descriptores de presión y posición obtenidos para niños regulares, con espasticidad y con atetosis una curva en el espacio



(a)



(b)



(c)

Figura 44. Gráficas de los grafos de niños a) regulares, b) con espasticidad y c) con atetosis en el espacio

Las gráficas muestran la interpolación en el espacio de las presiones de los sensores con respecto a la posición del grafo de los niños regulares, con espasticidad y con atetosis.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Con la realización de este trabajo se ha presentado el modelo matemático de la relación de los grafos con respecto a las presiones y la posición.

La recopilación de datos se realizó con niños regulares y con discapacidad motriz, lo mismo que estuvieron guiados por la terapeuta de lenguaje.

Al realizar el sistema de comparación de pendientes, de acuerdo a las condiciones planteadas se tiene un sistema de predicción de grafos, el trabajo se lo ha realizado únicamente para los grafos iniciales como son: el triángulo, el cuadrado y el círculo, obteniendo una predicción por medio de reglas.

Cuando se calcula la función de cada uno de los grafos por medio de la regresión polinomial multivariable, para cada niño se puede observar, que existe una ecuación para cada grafo, se expresa entonces que, el cambio de valores que tiene la presión que se ejerce en la pantalla al realizar el grafo es la huella personal.

La superficie generada de la función de presión con respecto a la posición se toma de cada uno de los sensores de manera individual, debido a que en el análisis de elementos finitos del lápiz se propuso que son dos fuerzas de agarre y una de soporte, sin embargo, en las muestras de niños con espasticidad no se pudo obtener los valores de fuerzas de soporte.

Los grafos utilizados como referencia fueron los de niños regulares, a partir de ellos se comprueba la teoría del grafismo de la espasticidad y atetosis, que nos dicen que los movimientos en niños con espasticidad son lentos y rígidos, afectando el control de la presión en el lápiz, y para los niños con atetosis refleja el comportamiento de cambios bruscos de presión y posición del grafo.

Los datos obtenidos hasta el momento sirvieron como insumos para realizar la propuesta de un proyecto de investigación en el cual se ha planteado como objetivo que, a partir del estudio grafológico de la escritura, mejorar el aprendizaje desarrollando herramientas que interactúen en el entorno de aprendizaje de los niños.

RECOMENDACIONES

Realizar más pruebas con niños con trastornos motrices luego de haber utilizado el lápiz como herramienta de corrección de agarre para mejorar la toma de los descriptores grafológicos.

Realizar el estudio grafológico de frases completas utilizando un sistema embebido, que contenga un giroscopio para tener datos de la direccionalidad.

Realizar los programas en un entorno de programación libre como c++ o Python para implementar el sistema en una minicomputadora como un Raspberry

Implementar más sensores en el lápiz de toma de muestras como la temperatura, humedad, pulsoximetría, generando relaciones que permitan mejorar la predicción de los grafos.

Implementar en el programa que pueda interpretar los parámetros como la edad, el diagnóstico general del niño y antecedentes que influyen en la escritura del niño.

ABREVIATURAS USADAS

GI-IATa	Grupo de Investigación en Inteligencia Artificial y Tecnologías de asistencia
SVC	Súper Vector Machine-. Técnica de inteligencia artificial para clasificación de patrones
PC	Parálisis cerebral
SPELTA	Ecosistema inteligente de soporte a la Terapia del Lenguaje
GABA	compuesto químico generado por el organismo que previene la hipertonía
FDA	Food and Drug Administration
CIMT	Constrain-induced movement therapy
Forward models	Un modelo directo transforma un comando motor en una predicción del resultado sensorial de un movimiento.
MSHD y QUWY	Bases de datos SQL
ID3	Algoritmo de hipótesis para clasificar
C5.0	Algoritmo de clasificación utiliza entropía de información
RNA	Redes Neuronales Artificiales
WDLBP	wavelet domain local binary patterns
GDA	Generalized Discriminant Analysis
MMPI	Inventario Multifásico de Personalidad de Minnesota

BIBLIOGRAFÍA

- Aubin, V. I. (2013). Nuevos Descriptores para la Identificación de Personas basados en la Simetría del Trazo.. *XVIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación*.
- Aubin, V. I. (2015). Escritura manuscrita: revisión del modelo conceptual de los parámetros pseudo-dinámicos. . *XVII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación*.
- Behnam Fallah, & Hassan Khotanlou. (2015). Detecting feactures of human personality based on handwriting using learning algorithms. *ACSIJ Advances in Computer Science*, 2322-5157.
- Bykbaev, V. R. (2016). *Contribución a los modelos de soporte pedagógico basados en TIC's y sistemas inteligentes como herramientas de apoyo a la educación especial y terapia de lenguaje*. España.
- Campenhout, A., Bar-On, L., & others. (2014). Can we unmask feactures of spasticity during gait in children with cerebral palsy by increasing their walking velocity. *Gait & Posture*, 39, 953-957.
- Champa, H., & AnadaKumar, K. (2010). Artificial neural network for human behavior prediction through handwriting analysis. *International Journal of Computer Applications*.
- David, J., & Balakrishnan, K. (2010). Machine learning approach for prediction of learning disabilities in school age children. *Computer Applications*(9), 10.
- Dian Pratiwi, Gatot Budi Santoso, & Piqih Hana Saputri. (2017). The application of graphology and enneagram techniques in deterniming personality tipe based on handwriting features. *Jurnal Ilmu Komputer dan Informasi*, 11-18.
- Díaz, A., Pinel, A., & Gueita, J. (2011). Terapia de movimiento inducido por restricción del lado sano: Alternativa en pacientes post-ictus? *Fisioterapia*, 1-5.
- Dokyng, L., Jongmin, S., Jung, W., & Tae-Beom, A. (2016). Spasticity secondary to isolated involvement of the pyramidal tract. *Journal of the Neurological Sciences*, 130-131.

- Esquenazi, A., Albanese, A., & others. (2013). Evidence-based review and assessment of botulinum neurotoxin for the treatment of adult spasticity in the upper motor neuron syndrome. *Toxicom*(67), 115-128.
- Flores Celis, D. (2015). *Software interactivo controlado por un sistema electromiográfico para mejorar la comunicación en pacientes con patálsis cerebral infantil en el hogar clínica San Juan de Dios*. Chiclayo: Universidad Católica santo torivio de morgrovejo.
- García Diez, D. (2004). Fisioterapia de la espasticidad: técnicas y métodos. *Fisioterapia*, 25-35.
- Gonzalez-Delgado , L., Verdugo-Cabrera, J., Serpa-Andrade, L., Ojeda-Zamalloa, I., Robles-Bykbaev, V., Pesántes-Aviles, F., . . . Gonzalez-Delgado, N. (2017). Mathematical Modeling and Ergonomic Study of a Pencil through Numerical Simulation for Support of the Graphological Presumptive Diagnosis. *AHFE*.
- Hidalgo Vaca, K. (2006). *Beneficios del watsu unido al tratameinto convencional de rehabilitación que reciben los niños y niñas de 2 a 6 años con PC en el centro de rehabilitación "San Miguel" de la provincia de Cotopaxi*. Ambato: Repositorio Universidad Técnica de Ambato.
- Iwayama, V., & Akiyama, V. (2004). Online hadwriting recognition technology nd its applications. *Fujitsu Sci Tech*, 170-178.
- Kim, Y., Puranik, C., & Otaiba, S. (2015). Developmental trajectories of writing skills in first grade: Examining the effects of SES and language and/or speech impairments. *The Elementary school journal*, 593-613.
- Kuhlen, M., Hoell, J., & others. (2016). Effective tratment of spasticity using dronavinol in pediatric palliative care . *European jornal of pediatric nerologi*, 1-6.
- Meneses castaño, C., Peñaloza Peñaranda, & others. (2015). Aplicación de la terapia robótica para el tratamiento de la mano espástica del adulto con hemiplejía. *Revista Mexicana de Medicina Fisica Rehabilitación*, 80-85.
- Monica, M., & Lillo, S. (2014). Impacto de las nuevas terapias en el manjo de la hipertonia en el niño con parálsis cerebral . *Reista Médica Clínica Las Condes*, 2(25), 315-329.
- Murat Topaloglu, & Seher Ekmekci. (2017). Gerder detection and identifying one's handwriting with handwriting analysis. *Expert Systems With Applications*, 236-243.

- Nishide, S., Okuno, H., Ogata, T., & Tani, J. (2011). Handwriting prediction based character recognition using recurrent neural network In *Sistemas, Man, and Cybernetics. 2011 IEEE International Conference*.
- Ojeda, I. (2017). *Diseño y construcción de un lapiz para medir el stress*. Cuenca: UPS.
- Prasad, S., Singh, V., & Sapre, A. (2010). Handwriting Analysis based on Segmentation Method for Prediction of Human Personality using Support Vector Machine. *Intenational Journal of Compute Applications*, 8(12), 25-29.
- Quizhpi, A. (2016). *Diseño de una aplicacion multimedia para niños con patálisi cerebral que sufren transtornos del habla y del lenguaje*. Cuenca: Reposistorio Universidad del Azual.
- Reyes, M., Chiodo, A., & others. (2011). La espasticidad y las lesiones de la médula espinal. *Model Systems Knowledge Traslation Center*, 1-5.
- Rodriguez Mutuberria, L., Serra valdex, Y., & others. (2004). La espasticidad como secuela de la enfermedad cerebrovascular. *Resita Cubana Medicina*, 43, 2-3.
- Rodriguez, J., Baquero, S., & others. (2011). Escritura en enfermedad de parkinson (EP): revisión sistemática de literatura. *Acta colombiana de psicología*, 17-26.
- Rodriguez-Mansilla, Espejo-Antúnez, L., & Bustamante-Lopez, A. (2016). Eficiencia de la acupuntura en la espasticidad del paciente que ha padecido un ictus. *Atencion Primaria*, 226-234.
- Rozina, H., Peden-McAlpine, C., & othes. (2016). Spasticity over time during acute rehavilitationÑ a study of paient and clinician scores. *Applied Nursing Research*, 16-23.
- Salinas, P., & Prado, F. (2016). *Dilemas éticos en niños con enfermedades neuromusculares y dependencias tecnológicas*. Archios de pediatría del Uruguay.
- Santamato, A., Micello, M., & Ranieri, M. (2015). Empliment of higher doses of botulinum toxim tipe A to reduce spasticiy after stroke. *Journal of the Neurological Sciencies*(350), 1-6.
- Serpa-Andrade, L., Gonzalez-Delgado, L., & Verdugo-Cabrera, J. (2016). Analisis matematico y simulación numéricaen la contrucción de un lapiz para un diagnostico grafologico. *ATICA*. Cuenca.

- Shweta Hegade, Gargee Hiray, Prajkta Mali, & Prof. Punam Raskar. (2015). FODEX: Forensic Document Examiner - Using Graphology Science. *International Journal of Emerging Trends in Science and Technology*, 2042-2045.
- Stevenson, V., & Playford, D. (2016). Neurological rehabilitation and the management of spasticity. *Neurological rehabilitation*, 530-536.
- Tapias, G., García-Romero, M., & others. (2016). Análisis de minimización de costes del tratamiento de la espasticidad en niños con parálisis cerebral con toxina botulínica tipo A: un estudio observacional, longitudinal retrospectivo. *Farmacia Hospitalaria*, 412-426.
- Vidal, X., & Tur, M. (2010). *Tratamiento de fisioterapia para la espasticidad en PC*. ASPACE.
- Vivancos-Matekkabi, F., Pascual-Pascual, S., & Nardi-Villardaga, J. (2007). Guía del tratamiento integral de la espasticidad. *Revista Neurologica*, 365-375.
- Younes Akbari, Kazem Nouri, Javad Sadri, Chawki Djeddi, & Imran Siddiqi. (2017). Wavelet-based gender detection on off-line handwritten documents using probabilistic finite state automata. *Image and Vision Computing*, 17-30.

UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA

UNIDAD DE POSGRADOS

**MAESTRÍA EN MÉTODOS MATEMÁTICOS Y
SIMULACIÓN NUMÉRICA EN INGENIERÍA**

Autor:

Luis Javier Serpa Andrade

Director:

PhD. Vladimir Robles Bykbaev

**DISEÑO DE UN SISTEMA INTELIGENTE DE PREDICCIÓN
Y SIMULACIÓN PARA LA ESCRITURA EN NIÑOS CON
ESPASTICIDAD**

Este proyecto de investigación y desarrollo presenta los resultados de la investigación en base a la implementación práctica de modelamiento matemático aplicado en el estudio del grafismo y la terapia de lenguaje en el aprendizaje de niños regulares y con discapacidad motriz. Asimismo, se enfoca el proceso de experimentación en el apoyo al terapeuta por medio de herramientas tecnológicas para la obtención de características grafológicas.

Este trabajo está modelado matemáticamente las relaciones entre presiones y el comportamiento del grafismo, se ha utilizado recursos como son el programa Java, Matlab.

Los resultados de este trabajo y los algoritmos desarrollados servirán como base para investigaciones posteriores en el campo de tecnologías de asistencia como soporte en la educación inclusiva.