

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA EN PRODUCCIÓN INDUSTRIAL**

**MAESTRÍA EN SISTEMAS MODERNOS DE MANUFACTURA**

## **PROYECTO DE GRADUACIÓN**

Uso de la robótica como herramienta motivacional para la enseñanza de la Matemática en la Educación Primaria.

Proyecto para optar por el grado de Maestría en Sistemas Modernos de Manufactura

**Ing. Carlos Otárola Zúñiga**

**Licda. Angie Solís Palma**

**Cartago, Mayo, 2013**


**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERIA EN PRODUCCION INDUSTRIAL  
MAESTRIA EN SISTEMAS MODERNOS DE MANUFACTURA  
ACTA DE DEFENSA PÚBLICA**

Se certifica que el Proyecto de Graduación presentado por la Señorita **ANGIE SOLIS PALMA**, titulado "Uso de la Robótica como Herramienta Motivacional para la Enseñanza de la Matemática en la Educación Primaria" cumple con las regulaciones y requisitos establecidos en el Reglamento del Proyecto de Graduación, para optar al grado de Maestría en Sistemas Modernos de Manufactura.

**La nota que corresponde es 95 .**

**TRIBUNAL EXAMINADOR**

  
Ing. Fernando Vázquez D. MEng.  
Profesional Externo

  
Ing. Oscar Gamboa C., MSc.  
Profesor Lector

  
Ing. Marcela Meneses G., PhD.  
Profesional Interno

  
Ing. Eladio Dapena G., PhD.  
Profesor Asesor

  
Ing. Oscar Gamboa C. MSc.  
Coordinador Maestría



Cartago, 06 de Mayo, 2013

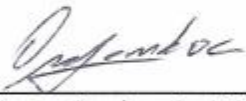
**INSTITUTO TECNOLOGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERIA EN PRODUCCION INDUSTRIAL  
MAESTRIA EN SISTEMAS MODERNOS DE MANUFACTURA  
ACTA DE DEFENSA PÚBLICA**

Se certifica que el Proyecto de Graduación presentado por el Señor **CARLOS OTÁROLA ZÚÑIGA**, titulado **"Uso de la Robótica como Herramienta Motivacional para la Enseñanza de la Matemática en la Educación Primaria"** cumple con las regulaciones y requisitos establecidos en el Reglamento del Proyecto de Graduación, para optar al grado de Maestría en Sistemas Modernos de Manufactura.


**La nota que corresponde es 95 .**

**TRIBUNAL EXAMINADOR**

  
Ing. Fernando Vázquez D. MEng.  
Profesional Externo

  
Ing. Oscar Gamboa C., MSc.  
Profesor Lector

  
Ing. Marcela Meneses G., PhD.  
Profesional Interno

  
Ing. Eladio Dapena G., PhD.  
Profesor Asesor

  
Ing. Oscar Gamboa C. MSc.  
Coordinador Maestría



Cartago, 06 de Mayo, 2013

## **i. Resumen**

*Otárola, Carlos; Solís, Angie. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Uso de la robótica como herramienta motivacional para la enseñanza de la Matemática en la Educación Primaria. Profesor asesor: Ing. Eladio Dapena G, PhD.*

El presente proyecto consiste en una propuesta de guías de trabajo para la enseñanza de contenidos de Geometría de primer y tercer grado de escuela. El instrumento de enseñanza utilizado es un robot capaz de dibujar líneas rectas y curvas, ángulos, polígonos y circunferencias, el cual fue construido utilizando los sets de construcción LEGO Mindstorms. Además, fue desarrollado en el Instituto Tecnológico de Costa Rica.

El proyecto se realiza con el fin de cubrir la necesidad existente de material didáctico que apoye la implementación de los nuevos planes de estudio planteados por el Ministerio de Educación Pública (MEP). Este material debe brindar una guía al maestro acerca de cuáles son las características del instrumento de trabajo y cómo implementarlo.

Durante el diagnóstico de la situación actual se detectó la implementación, por parte del MEP, de planes de estudio para la enseñanza de la Matemática, enfocados en el aprendizaje significativo, el trabajo participativo de los alumnos, la resolución de problemas y el constructivismo, entre otras corrientes pedagógicas. Al respecto, también se estudiaron experiencias nacionales e internacionales, en las cuales la robótica educativa es una herramienta válida para la enseñanza de contenidos de matemática, tales como la aritmética, el álgebra y la geometría.

También, se presenta una guía de construcción y ajuste del comportamiento del robot, así como otra de instalación del software de control de aquel. Este último se creó para brindar al profesor y al alumno, una interfaz gráfica amigable y de fácil uso, la cual incluye solo los contenidos relevantes para la actividad realizada. Finalmente se incluyen los resultados de pruebas piloto realizadas a un grupo de profesores de una escuela y un estudiante de primer grado.

## ii. Dedicatoria

A mi madre, que siempre estuvo a mi lado para apoyarme sobre todo en aquellos momentos en que ya no podía más.

A mi familia, que me impulso a seguir adelante y a luchar por conseguir lo que soñaba.

A Jesús Hernández Araya, mi compañero, por ayudarme y apoyarme durante toda la maestría y principalmente durante el último año.

-Angie

A mis abuelos, por enseñarme el valor de la paciencia para germinar una semilla.

A mi mamá, por enseñarme a luchar incasablemente.

A mi familia y amigos, por enseñarme el poder de la sonrisa.

A todos los que me han acompañado en mi camino de aprendizaje. Gracias.

-Carlos

### **iii. Agradecimientos**

A Dios, por permitirnos trabajar en este proyecto y por darnos la fortaleza que necesitábamos cada día para seguir adelante.

Al Dr. Eladio Dapena, por su guía y consejo durante el desarrollo del presente proyecto.

Al Dr. Juan Córdoba Q.E.P.D, por sus observaciones durante la escritura del documento.

Un agradecimiento especial al Sr. Fernando Segovia, por su participación clave durante la etapa de diseño del software de control del robot.

"El aspecto más triste de la vida actual es que la ciencia gana en conocimiento más rápidamente que la sociedad en sabiduría."

Isaac Asimov

## iv. Índice

i. Resumen .....	iv
ii. Dedicatoria.....	v
iii. Agradecimientos .....	vi
iv. Índice .....	viii
v. Índice de cuadros.....	xii
vi. Índice de figuras.....	xiv
<b>Capítulo I. Introducción .....</b>	<b>1</b>
1.1. <i>Antecedentes</i> .....	2
1.2. <i>Planteamiento del problema</i> .....	6
1.3. <i>Justificación</i> .....	8
1.4. <i>Objetivos</i> .....	9
1.4.1. <i>Objetivo general</i> .....	9
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	10
1.5. <i>Alcances y limitaciones</i> .....	11
1.5.1. <i>Alcances</i> .....	11
1.5.2. <i>Limitaciones</i> .....	12
1.6. <i>Organización de los capítulos</i> .....	12
<b>Capítulo 2. Estado de la Cuestión .....</b>	<b>15</b>
2.1. <i>Paradigmas de la educación</i> .....	15
2.2. <i>Reforma de la educación matemática</i> .....	18
2.3. <i>Educación primaria</i> .....	20
2.4. <i>Robótica</i> .....	32
2.4.1. <i>Definición de robot</i> .....	32
2.4.2. <i>Historia</i> .....	33
2.5. <i>Robótica educativa</i> .....	35
2.5.1. <i>Potencial pedagógico</i> .....	36
2.5.2. <i>Robots educativos</i> .....	39
2.6. <i>Experiencias de la implementación de la robótica en la educación</i> .....	46
2.6.1. <i>Investigaciones y proyectos realizados a nivel internacional</i> .....	46

2.6.2. Investigaciones y proyectos realizados a nivel nacional .....	56
2.7. <i>Robótica educativa y matemática</i> .....	64
2.8. <i>Discusión</i> .....	71
<b>Capítulo 3. Propuesta para la creación de una lección de Matemática utilizando un robot ...</b>	<b>74</b>
3.1. <i>Estructura de la propuesta</i> .....	75
3.2. <i>Requerimientos para la elaboración de las guías</i> .....	77
3.3. <i>Propuesta de construcción de la guía para el docente</i> .....	78
3.4. <i>Propuesta de construcción de la guía de trabajo para el estudiante</i> .....	88
3.5. <i>Discusión</i> .....	108
<b>Capítulo 4. Diseño y construcción del robot “GeoBot” .....</b>	<b>109</b>
4.1. <i>Requerimientos de diseño</i> .....	109
4.2. <i>Propuestas de diseño</i> .....	110
4.3. <i>Propuesta seleccionada</i> .....	111
4.4. <i>Esquema cinemático</i> .....	114
4.4.1. <i>Parámetros de la llanta</i> .....	115
4.4.2. <i>Esquema cinemático para el movimiento en trayectoria recta y giro sobre su propio eje</i> .....	116
4.4.3. <i>Esquema cinemático para el movimiento en trayectoria curva</i> .....	117
4.5. <i>Ecuaciones de movimiento</i> .....	118
4.5.1. <i>Ecuaciones para el avance en línea recta</i> .....	118
4.5.2. <i>Ecuaciones de giro sobre su propio eje</i> .....	119
4.5.3. <i>Ecuaciones de giro sobre un punto exterior</i> .....	120
4.6. <i>Módulos del robot</i> .....	121
4.6.1. <i>Módulo 1: Locomoción</i> .....	122
4.6.2. <i>Módulo 2: Soporte</i> .....	123
4.6.3. <i>Módulo 3: Control del Instrumento de dibujo</i> .....	124
4.6.4. <i>Módulo 4: Cremallera</i> .....	125
4.6.5. <i>Módulo 5: Soporte del instrumento de dibujo</i> .....	126
4.6.6. <i>Módulo 6: Unidad de control</i> .....	127
4.6.7. <i>Módulo 7: Cabina</i> .....	128
4.6.8. <i>Accesorios</i> .....	129
4.7. <i>Manual de construcción</i> .....	129

4.7.1. Ensamble.....	130
4.7.2. Cableado .....	138
4.7.3. Montaje del instrumento de dibujo .....	140
4.8. <i>Discusión</i> .....	142
<b>Capítulo 5. Diseño e implementación del software de control del Robot “GeoBot” .....</b>	<b>144</b>
5.1. <i>Requisitos del diseño del Software</i> .....	144
5.2. <i>Propuestas de diseño del software</i> .....	145
5.2.1. Soluciones .....	145
5.2.2. Propuesta seleccionada .....	146
5.3. <i>Diseño del comportamiento externo (Manual de usuario del software)</i> .....	147
5.4. <i>Definición del comportamiento interno</i> .....	155
5.4.1. Diagrama de clases.....	155
5.4.2. Implementación de fórmulas en los métodos.....	157
5.5. <i>Procedimiento de instalación</i> .....	159
5.5.1. Requisitos técnicos.....	159
5.5.2. Instalación de LEJOS en el cerebro del robot.....	160
5.6. <i>Ejecución del programa</i> .....	160
5.7. <i>Ajuste del comportamiento del robot</i> .....	161
5.8. <i>Discusión</i> .....	164
<b>Capítulo 6. Ensayos de Prueba.....</b>	<b>166</b>
6.1. <i>Prueba de funcionamiento del robot</i> .....	166
6.1.1. Línea recta.....	167
6.1.2. Ángulo.....	176
6.1.3. Circunferencia .....	188
6.2. <i>Prueba de funcionamiento de la aplicación</i> .....	198
6.2.1. Línea curva.....	199
6.2.2. Ángulo.....	200
6.2.3. Polígono .....	201
6.2.4. Circunferencia .....	202
6.3. <i>Presentación a docentes de primaria</i> .....	203
6.4. <i>Prueba piloto con un estudiante</i> .....	211
6.5 <i>Discusión</i> .....	213

<b>CAPÍTULO 7. Conclusiones .....</b>	<b>215</b>
<b>CAPÍTULO 8. Recomendaciones .....</b>	<b>217</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>219</b>
<b>APÉNDICE .....</b>	<b>224</b>
<i>Apéndice A. Guía de trabajo para el docente.....</i>	<i>224</i>
Actividad 1: Trazar e identificar líneas rectas y curvas .....	224
Actividad 2: Trazar ángulos y reconocer sus elementos: lado y vértice .....	230
Actividad 3: Clasificar polígonos según el número de sus lados: triángulo, cuadrilátero, pentágono, hexágono.....	236
Actividad 4: Identificar y trazar circunferencias Reconocer el radio y el diámetro de una circunferencia .....	242
<i>Apéndice B. Guía de trabajo para los estudiantes .....</i>	<i>248</i>
Actividad 1: Trazar e identificar líneas rectas y curvas .....	248
Actividad 2: Trazar ángulos y reconocer sus elementos: lado y vértice .....	261
Actividad 3: Clasificar polígonos según el número de sus lados: triángulo, cuadrilátero, pentágono, hexágono.....	271
Actividad 4: Identificar y trazar circunferencias Reconocer el radio y el diámetro de una circunferencia .....	283
<i>Apéndice C. Guía de construcción del robot .....</i>	<i>293</i>
<i>Apéndice D. Guía para el ajuste del comportamiento del robot.....</i>	<i>333</i>
<i>Apéndice E. Datos y análisis estadístico.....</i>	<i>337</i>
Líneas rectas sin factor de corrección.....	337
Líneas rectas con factor de corrección .....	344
Ángulos sin factor de corrección .....	352
Ángulos con factor de corrección .....	366
Circunferencia con radio sin factor de corrección .....	380
Circunferencia con radio con factor de corrección .....	386
<i>Apéndice F. Encuesta para los profesores .....</i>	<i>392</i>
<i>Apéndice G. Guía de Instalación del software.....</i>	<i>396</i>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>407</b>
<i>Conceptos estadísticos.....</i>	<i>407</i>
<i>Costo de implementar el proyecto.....</i>	<i>413</i>
<b>CURRICULUM VITAE .....</b>	<b>416</b>

## v. Índice de cuadros

Cuadro 1. Conocimientos básicos para el primer año .....	22
Cuadro 2. Contenidos básicos para el primer año del primer ciclo .....	23
Cuadro 3. Contenidos básicos para el segundo año del primer ciclo.....	24
Cuadro 4. Contenidos básicos para el tercer año del primer ciclo .....	25
Cuadro 5. Contenidos básicos para el primer año del segundo ciclo.....	26
Cuadro 6. Contenidos básicos para el segundo año del primer ciclo.....	27
Cuadro 7. Contenidos básicos para el tercer año del segundo ciclo.....	28
Cuadro 8. Lista de talleres ofrecidos entre 2006 y 2009, impartido por el CITA .....	48
Cuadro 9. Salas de exploración existentes.....	59
Cuadro 10. Ganadores de la categoría A . .....	63
Cuadro 11. Tabla comparativa de las diferentes configuraciones de diseño propuestas. ....	111
Cuadro 12. Tabla comparativa de ventajas y desventajas de usar software propietario LEGO versus software de código abierto .....	146
Cuadro 13. Medias y desviaciones estándar para líneas rectas. Tamaño de muestra $n = 30$ .....	168
Cuadro 14. Prueba de normalidad para líneas rectas. Tamaño de muestra $n = 30$ . ....	168
Cuadro 15. Intervalos de confianza de 95% para la media y para la desviación estándar en las líneas rectas. Tamaño de muestra $n = 30$ . ....	169
Cuadro 16. Intervalos de tolerancia de 95% para las medidas de las líneas rectas. Tamaño de muestra $n = 30$ . ....	170
Cuadro 17. Factores de corrección para líneas rectas. Tamaño de muestra $n = 30$ . ....	170
Cuadro 18. Medias y desviaciones estándar para líneas rectas con factor de corrección. Tamaño de muestra $n = 30$ . ....	171
Cuadro 19. Prueba de normalidad para líneas rectas con factor de corrección. Tamaño de muestra $n = 30$ . ....	174
Cuadro 20. Intervalos de confianza de 95% para la media y para la desviación estándar en las líneas rectas con factor de corrección. Tamaño de muestra $n = 30$ .....	174
Cuadro 21. Intervalos de tolerancia de 95% para las medidas de las líneas rectas con factor de corrección. Tamaño de muestra $n = 30$ . ....	175
Cuadro 22. Medias y desviaciones estándar para ángulos. Tamaño de muestra $n = 30$ . ....	177
Cuadro 23. Prueba de normalidad para ángulos. Tamaño de muestra $n = 30$ . ....	178

Cuadro 24. Intervalos de confianza de 95% para la media y para la desviación estándar en los ángulos. Tamaño de muestra $n = 30$ . .....	179
Cuadro 25. Intervalos de tolerancia de 95% para las medidas de los ángulos. Tamaño de muestra $n = 30$ . .....	180
Cuadro 26. Factores de corrección para ángulos. Tamaño de muestra $n = 30$ . .....	181
Cuadro 27. Medias y desviaciones estándar para ángulos con factor de corrección. Tamaño de muestra $n = 30$ . .....	182
Cuadro 28. Prueba de normalidad para ángulos con factor de corrección. Tamaño de muestra $n = 30$ . .....	185
Cuadro 29. Intervalos de confianza de 95% para la media y para la desviación estándar en los ángulos con factor de corrección. Tamaño de muestra $n = 30$ . .....	186
Cuadro 30. Intervalos de tolerancia de 95% para las medidas de los ángulos con factor de corrección. Tamaño de muestra $n = 30$ . .....	187
Cuadro 31. Medias y desviaciones estándar para los radios de las circunferencias. Tamaño de muestra $n = 30$ . .....	189
Cuadro 32. Prueba de normalidad para los radios de las circunferencias. Tamaño de muestra $n = 30$ . .....	190
Cuadro 33. Intervalos de confianza de 95% para la media y para la desviación estándar en los radios de las circunferencias. Tamaño de muestra $n = 30$ . .....	191
Cuadro 34. Intervalos de tolerancia de 95% para los radios de las circunferencias. Tamaño de muestra $n = 30$ . .....	191
Cuadro 35. Factores de corrección para los radios de las circunferencias. Tamaño de muestra $n = 30$ . .....	192
Cuadro 36. Medias y desviaciones estándar para los radios de las circunferencias con factor de corrección. Tamaño de muestra $n = 30$ . .....	193
Cuadro 37. Prueba de normalidad para los radios de las circunferencias con factor de corrección. Tamaño de muestra $n = 30$ . .....	196
Cuadro 38. Intervalos de confianza de 95% para la media y para la desviación estándar en los radios de las circunferencias con factor de corrección. Tamaño de muestra $n = 30$ . .....	196
Cuadro 39. Intervalos de tolerancia de 95% para las medidas de los radios de las circunferencias con factor de corrección. Tamaño de muestra $n = 30$ . .....	197

## vi. Índice de figuras

Figura 1. Las cinco áreas matemáticas en los cuatro ciclos lectivos. ....	29
Figura 2. Logotipo de Fischertechnik .....	40
Figura 3. Celda de entrenamiento Fischertechnik .....	40
Figura 4. Set de piezas para construir el robot. ....	41
Figura 5. Robot tipo "Transformer" (humanoide, escorpión o tanque). ....	42
Figura 6. Tren caja de herramientas .....	43
Figura 7. Multimodelos .....	43
Figura 8. Skykee .....	44
Figura 9. Lego Mindstorms Education NXT. ....	45
Figura 10. Actividad de cierre de los talleres. ....	47
Figura 11. Diferentes etapas del proyecto. De izquierda a derecha, Educación Pre-escolar, Educación Básica, Educación Media, diversificada. ....	54
Figura 12. Transporte del proyecto Robótica Educativa. ....	54
Figura 13. RoboCup 2011, Barcelona. ....	55
Figura 14. Salas de exploración de robótica. ....	58
Figura 15. En el ojo se observa la esclerótica y el limbo esclerocorneal. Los puntos de corte $(x, y)$ están definidos por una función $f(x)$ . ....	69
Figura 16. La trayectoria definida por la función $f(x)$ es recorrida por el robot LEGO NXT. ....	70
Figura 17. Encabezado, guía del docente. ....	79
Figura 18. Objetivos, guía del docente. ....	80
Figura 19. Conocimientos previos de los estudiantes, guía del docente. ....	80
Figura 20. Otros propósitos educativos, guía del docente. ....	81
Figura 21. Recursos didácticos, guía del docente. ....	82
Figura 22. Requerimientos del aula, guía del docente. ....	83
Figura 23. Recomendaciones, guía del docente. ....	84
Figura 24. Desarrollo de la lección, guía del docente. ....	84
Figura 25. Inicio de la actividad, guía del docente. ....	85
Figura 26. Desarrollo de la actividad, guía del docente. ....	86
Figura 27. Cierre de la actividad, guía del docente. ....	87
Figura 28. Observaciones, guía del docente. ....	87
Figura 29. Encabezado, guía del estudiante. ....	89
Figura 30. Objetivo, guía del estudiante. ....	89
Figura 31. Recomendaciones, guía del estudiante. ....	90
Figura 32. Instrucciones iniciales y pegado del papel, guía del estudiante. ....	91

Figura 33. Conexión de GeoBot con la computadora, guía del estudiante. ....	92
Figura 34. Interfaz, guía del estudiante.....	93
Figura 35. Colocación de GeoBot, guía del estudiante. ....	93
Figura 36. Cómo utilizar la interfaz “rectas” (a), guía del estudiante. ....	94
Figura 37. Como utilizar la interfaz “rectas” (b), guía del estudiante. ....	95
Figura 38. Como utilizar la interfaz “rectas” (c), guía del estudiante. ....	95
Figura 39. Como utilizar la interfaz “rectas” (d), guía del estudiante. ....	96
Figura 40. Como utilizar la interfaz “rectas” (e), guía del estudiante. ....	96
Figura 41. Instrucciones de espera y dibujo de la línea recta dibujada por el robot, guía del estudiante.....	97
Figura 42. Instrucción y dibujo de más líneas rectas dibujadas por el robot, guía del estudiante. ..	98
Figura 43. Nota sobre líneas rectas, guía del estudiante. ....	99
Figura 44. Cómo utilizar la interfaz “curvas” (a), guía del estudiante. ....	100
Figura 45. Cómo utilizar la interfaz “curvas” (b), guía del estudiante. ....	100
Figura 46. Como utilizar la interfaz “curvas” (c), guía del estudiante. ....	101
Figura 47. Como utilizar la interfaz “curvas” (d), guía del estudiante. ....	101
Figura 48. Cómo utilizar la interfaz “curvas” (e), guía del estudiante. ....	102
Figura 49. Instrucciones de espera y dibujo de la línea curva dibujada por el robot, guía del estudiante.....	103
Figura 50. Instrucción y dibujo de más líneas curvas dibujadas por el robot, guía del estudiante. ....	104
Figura 51. Nota sobre líneas curvas, guía del estudiante. ....	104
Figura 52. Actividad reto, guía del estudiante.....	106
Figura 53. Tabla para clasificar líneas rectas y curvas, guía del estudiante. ....	107
Figura 54. Esquema de una configuración diferencial típica .....	112
Figura 55. Rueda de castor hecha con LEGO y rueda loca de metal. ....	113
Figura 56. Orientación del robot en el espacio. ....	114
Figura 57. Parámetros de la llanta. ....	115
Figura 58. Esquema geométrico de una configuración diferencial. ....	116
Figura 59. Esquema cinemático de un sistema motriz diferencial.....	117
Figura 60. Centro de giro del robot. ....	119
Figura 61. Módulo locomotor, acompañado por su despiece.....	122
Figura 62. Estructura de soporte principal acompañado por su despiece.....	123
Figura 63. Control del Marcador, acompañado por su despiece. ....	124
Figura 64. Cremallera, acompañada por su despiece. ....	125
Figura 65. Soportes para el módulo 5.....	126
Figura 66. Soporte del instrumento de dibujo, acompañado por su despiece.....	126
Figura 67. Unidad de control, acompañada por su despiece. ....	127
Figura 68. Cabina, acompañada por su despiece. ....	128

Figura 69. Accesorios.....	129
Figura 70. Sub-ensamble 1. Ensamble de los módulos 1 y 3. ....	131
Figura 71. Sub-ensamble 2. Colocación del módulo 2. ....	132
Figura 72. Sub-ensamble 3. Colocación del módulo 6. ....	133
Figura 73. Sub-ensamble 4. Colocación del módulo 5. ....	134
Figura 74. Sub-Ensamble 5. Colocación de los accesorios. ....	135
Figura 75. Sub-ensamble 6. Colocación del módulo 4. ....	136
Figura 76. Sub-ensamble 7. Colocación del módulo 7. ....	136
Figura 77. Ensamble final. ....	137
Figura 78. Lista de partes. ....	138
Figura 79. Cable etiquetado.....	139
Figura 80. Conexión de los motores a los puertos del CPU. ....	139
Figura 81. Materiales para dibujar. ....	140
Figura 82. Etapas de la instalación del instrumento de dibujo. ....	141
Figura 83. Menú principal de la interfaz. ....	147
Figura 84. Pantalla de acceso mediante contraseña. ....	148
Figura 85. Menú de selección del tipo de línea. ....	148
Figura 86. Menú de selección de líneas rectas. ....	149
Figura 87. Giro del robot. ....	150
Figura 88. Menú de líneas curvas. ....	150
Figura 89. Menú de selección de ángulos. ....	151
Figura 90. Menú de polígonos. ....	152
Figura 91. Menú de círculos. ....	153
Figura 92. Mensaje de error en el menú de configuración. ....	154
Figura 93. Menú de configuración. ....	154
Figura 94. Diagrama de jerarquía de los menús de la interfaz. ....	155
Figura 95. Diagrama de clases del programa GeoBot. ....	156
Figura 96. Código que define el ángulo de avance. ....	158
Figura 97. Código que define el ángulo de rotación. ....	158
Figura 98. Código que define el ángulo de rotación de cada motor para dibujar un círculo. ....	159
Figura 99. Selección del archivo para ejecutar. ....	160
Figura 100. Interpretación correcta de la distancia entre ruedas. ....	161
Figura 101. Medida del diámetro de la llanta. ....	162
Figura 102. Definición de posición superior para el instrumento de dibujo. ....	163
Figura 103. Línea recta hecha con el robot. ....	167
Figura 104. Gráfico comparativo de las medias para las líneas rectas. ....	172
Figura 105. Gráfico comparativo de las desviaciones estándar para las líneas rectas. ....	173
Figura 106. Gráfico de dispersión e intervalos de tolerancia para los datos de la línea de 5 cm. .	176

Figura 107. Ángulo hecho con el robot. ....	177
Figura 108. Gráfico comparativo de las medias para los ángulos. ....	183
Figura 109. Gráfico comparativo de las desviaciones estándar para los ángulos. ....	184
Figura 110. Gráfico de dispersión e intervalos de tolerancia para los datos del ángulo de 15°. ....	188
Figura 111. Círculo hecho con el Robot. ....	189
Figura 112. Gráfico comparativo de las medias para los radios de las circunferencias. ....	194
Figura 113. Gráfico comparativo de las desviaciones estándar para los radios de las circunferencias. ....	195
Figura 114. Gráfico de dispersión e intervalos de tolerancia para los datos del radio de 10 cm. ...	198
Figura 115. Secuencia de comandos en la aplicación Geobot para que el robot dibuje una línea curva. ....	199
Figura 116. Posición inicial de robot y resultado de ejecutar los pasos mencionados para dibujar una línea curva. ....	200
Figura 117. Secuencia de comandos en la aplicación Geobot para que el robot dibuje un ángulo de 120°. ....	200
Figura 118. Posición inicial de robot y resultado de ejecutar los pasos mencionados para dibujar un ángulo de 120°. ....	201
Figura 119. Secuencia de comandos en la aplicación Geobot para que el robot dibuje un pentágono de lado 10 centímetros. ....	201
Figura 120. Posición inicial de robot y resultado de ejecutar los pasos mencionados para dibujar un pentágono de lado 10 centímetros. ....	202
Figura 121. Secuencia de comandos en la aplicación Geobot para que el robot dibuje una circunferencia de radio 10 centímetros. ....	202
Figura 122. Posición inicial de robot y resultado de ejecutar los pasos mencionados para dibujar un pentágono de lado 10 centímetros. ....	203
Figura 123. Prueba del Robot en la Escuela Franklin Delano Roosevelt. ....	204
Figura 124. Nivel de interés en la Robótica Educativa luego de la exposición. ....	205
Figura 125 Beneficios que puede obtener una clase de Matemática utilizando el robot propuesto. ....	205
Figura 126. Ventajas del proyecto expuesto. ....	206
Figura 127. Desventajas del proyecto expuesto. ....	207
Figura 128. Contenidos de Matemática que presentan mayores dificultades entre los alumnos. .	207
Figura 129. Factores que influyen en el aprendizaje de los contenidos más problemáticos. ....	208
Figura 130. Capacidad del proyecto para solventar los principales problemas experimentados en las clases de Matemática. ....	209
Figura 131. Capacidad del proyecto para motivar a los estudiantes a aprender Matemática. ....	209
Figura 132. Principales sugerencias planteadas. ....	210
Figura 133. Prueba piloto con un estudiante. ....	211

Figura 134. Resumen estadístico para las mediciones de líneas rectas de 5 cm.....	338
Figura 135. Intervalos de tolerancia para las mediciones de líneas rectas de 5 cm.....	338
Figura 136. Resumen estadístico para las mediciones de líneas rectas de 10 cm.....	339
Figura 137. Intervalos de tolerancia para las mediciones de líneas rectas de 10 cm.....	340
Figura 138. Resumen estadístico para las mediciones de líneas rectas de 15 cm.....	341
Figura 139. Intervalos de tolerancia para las mediciones de líneas rectas de 15 cm.....	341
Figura 140. Resumen estadístico para las mediciones de líneas rectas de 20 cm.....	342
Figura 141. Intervalos de tolerancia para las mediciones de líneas rectas de 20 cm.....	343
Figura 142. Resumen estadístico para las mediciones de líneas rectas de 5 cm con factor de corrección.....	345
Figura 143. Intervalos de tolerancia para las mediciones de líneas rectas de 5 cm con factor de corrección.....	345
Figura 144. Resumen estadístico para las mediciones de líneas rectas de 10 cm con factor de corrección.....	347
Figura 145. Intervalos de tolerancia para las mediciones de líneas rectas de 10 cm con factor de corrección.....	347
Figura 146. Resumen estadístico para las mediciones de líneas rectas de 15 cm con factor de corrección.....	349
Figura 147. Intervalos de tolerancia para las mediciones de líneas rectas de 15 cm con factor de corrección.....	349
Figura 148. Resumen estadístico para las mediciones de líneas rectas de 20 cm con factor de corrección.....	351
Figura 149. Intervalos de tolerancia para las mediciones de líneas rectas de 20 cm con factor de corrección.....	351
Figura 150. Resumen estadístico para las mediciones de ángulos de 15°.....	353
Figura 151. Intervalos de tolerancia para las mediciones de ángulos de 15°.....	354
Figura 152. Resumen estadístico para las mediciones de ángulos de 30°.....	355
Figura 153. Intervalos de tolerancia para las mediciones de ángulos de 30°.....	355
Figura 154. Resumen estadístico para las mediciones de ángulos de 60°.....	357
Figura 155. Intervalos de tolerancia para las mediciones de ángulos de 60°.....	357
Figura 156. Resumen estadístico para las mediciones de ángulos de 90°.....	359
Figura 157. Intervalos de tolerancia para las mediciones de ángulos de 90°.....	359
Figura 158. Resumen estadístico para las mediciones de ángulos de 108°.....	361
Figura 159. Intervalos de tolerancia para las mediciones de ángulos de 108°.....	361
Figura 160. Resumen estadístico para las mediciones de ángulos de 120°.....	363
Figura 161. Intervalos de tolerancia para las mediciones de ángulos de 120°.....	363
Figura 162. Resumen estadístico para las mediciones de ángulos de 150°.....	365
Figura 163. Intervalos de tolerancia para las mediciones de ángulos de 150°.....	365

Figura 164. Resumen estadístico para las mediciones de ángulos de 15° con factor de corrección .....	367
Figura 165. Intervalos de tolerancia para las mediciones de ángulos de 15° con factor de corrección .....	367
Figura 166. Resumen estadístico para las mediciones de ángulos de 30° con factor de corrección .....	369
Figura 167. Intervalos de tolerancia para las mediciones de ángulos de 30° con factor de corrección.....	369
Figura 168. Resumen estadístico para las mediciones de ángulos de 60° con factor de corrección .....	371
Figura 169. Intervalos de tolerancia para las mediciones de ángulos de 60° con factor de corrección.....	371
Figura 170. Resumen estadístico para las mediciones de ángulos de 90° con factor de corrección .....	373
Figura 171. Intervalos de tolerancia para las mediciones de ángulos de 90° con factor de corrección .....	373
Figura 172. Resumen estadístico para las mediciones de ángulos de 108° con factor de corrección. ....	375
Figura 173. Intervalos de tolerancia para las mediciones de ángulos de 108° con factor de corrección.....	375
Figura 174. Resumen estadístico para las mediciones de ángulos de 120° con factor de corrección. ....	377
Figura 175. Intervalos de tolerancia para las mediciones de ángulos de 120° con factor de corrección.....	377
Figura 176. Resumen estadístico para las mediciones de ángulos de 150° con factor de corrección .....	379
Figura 177. Intervalos de tolerancia para las mediciones de ángulos de 150° con factor de corrección.....	379
Figura 178. Resumen estadístico para las mediciones de radios de 10 cm en la circunferencia ..	381
Figura 179. Intervalos de tolerancia para las mediciones de radios de 10 cm en la circunferencia. ....	381
Figura 180. Resumen estadístico para las mediciones de radios de 15 cm en la circunferencia ..	383
Figura 181. Intervalos de tolerancia para las mediciones de radios de 15 cm en la circunferencia. ....	383
Figura 182. Resumen estadístico para las mediciones de radios de 20 cm en la circunferencia ..	385
Figura 183. Intervalos de tolerancia para las mediciones de radios de 20 cm en la circunferencia. ....	385

Figura 184. Resumen estadístico para las mediciones de radios de 10 cm en la circunferencia con factor de corrección.....	387
Figura 185. Intervalos de tolerancia para las mediciones de radios de 10 cm en la circunferencia con factor de corrección.....	387
Figura 186. Resumen estadístico para las mediciones de radios de 15 cm en la circunferencia con factor de corrección.....	389
Figura 187. Intervalos de tolerancia para las mediciones de radios de 15 cm en la circunferencia con factor de corrección.....	389
Figura 188. Resumen estadístico para las mediciones de radios de 20 cm en la circunferencia con factor de corrección.....	391
Figura 189. Intervalos de tolerancia para las mediciones de radios de 20 cm en la circunferencia con factor de corrección.....	391

# Capítulo I.

## Introducción

---

Este proyecto de investigación busca motivar a docentes de educación primaria sobre el uso de la robótica como herramienta motivacional para la enseñanza de las Matemáticas. Para esto se desarrolla una propuesta para la elaboración de unidades de aprendizaje, que incorpore el uso de un robot programable como herramienta didáctica. A partir de esta propuesta se diseñó una serie de actividades para el tema de geometría, en las que el maestro construye un robot a partir de dos sets robóticos diferentes de la línea LEGO® Mindstorms® Education<sup>1</sup>. Luego el estudiante ejecuta diversas actividades y resuelve algunos problemas relacionados con la geometría.

Para lograr lo anterior se pretende dar una guía tanto para el estudiante como para el profesor, cada una detallando las diferentes etapas de la actividad, la construcción y programación del robot respectivamente.

Se trabajó con el set robótico de LEGO® Mindstorms® Education ya que es uno de los más usados a nivel nacional, lo cual permite que el proyecto aproveche experiencias y trabajos realizados previamente en el país. Entre las instituciones líderes en la implementación de la robótica educativa mediante el uso de sets LEGO, se encuentra a Fundación Omar Dengo (FOD), la cual lo utiliza en diversos proyectos orientados a la enseñanza en escuelas y colegios.

Por otra parte, la selección de la geometría como contenido primario de las actividades diseñadas, se fundamenta en la experiencia profesional y criterio de los investigadores. Estos consideran que la geometría permite un aprendizaje

---

<sup>1</sup> Los sets utilizados son “LEGO MINDSTORMS Education Resource Set” #ref 9695, y el “LEGO MINDSTORMS Education NXT Base Set” #ref 9797. Las instrucciones de armado del robot se muestran en el capítulo 4.

intuitivo y concreto, el cual se puede facilitar mediante los materiales y técnicas utilizadas en la robótica educativa.

En este capítulo se presentan los antecedentes del tema investigado, el planteamiento y justificación del problema, los objetivos, alcances y limitaciones del proyecto.

## **1.1. Antecedentes**

Según establece la Ley Fundamental de Educación, en Costa Rica la educación escolar comprende cuatro niveles (preescolar, primaria, media y superior<sup>2</sup>); la educación primaria está compuesta por el I y II ciclo y la educación media está compuesta por el III ciclo y la educación diversificada; los primeros tres ciclos, también conocidos como educación general básica, son gratuitos y costeados por el Estado. Por medio de esta división se busca que la formación académica se vaya logrando en forma graduada y acorde con desarrollo psicológico y biológico de los educandos (Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica, 1957).

Un sistema estructurado de esta forma requiere que cada nivel logre los objetivos que le corresponden, por cuanto, una falla en uno de ellos se manifiesta en los niveles superiores. Desgraciadamente, para muchos educadores la articulación de los diferentes niveles del sistema educativo no es una realidad, y ya desde la concepción misma del sistema educativo, es posible encontrar algunas de las explicaciones de los resultados que presenta la educación costarricense, en cuanto a aspectos como la no adecuada formación académica de los alumnos al avanzar en los diferentes niveles y las constantes quejas de los docentes sobre las bases de conocimientos específicos que tienen los alumnos.

---

<sup>2</sup> La educación preescolar inicia aproximadamente a los 4 años, y se extiende hasta los 6 años de edad del alumno. La educación primaria tiene una duración de 6 años, desde los 7 años hasta los 12 años de edad. El ciclo de educación media, dura 5 o 6 años, dependiendo del tipo de colegio al que se asista. El alumno termina este ciclo a los 17 o 18 años respectivamente. Finalmente la educación superior o universitaria, inicia a los 18 años de edad.

En particular, son notorias las quejas de los profesores de Matemática a nivel de secundaria, sobre los conocimientos previos de los alumnos en esa disciplina; señalan, en muchos casos, con dedo acusador a los docentes encargados de la formación matemática de los alumnos en las edades tempranas.

En este aspecto, destacan los trabajos de investigación realizados por Ruiz (2006), sobre la problemática de la educación en Costa Rica, donde expresa que:

Los egresados de la primaria fracasan en la secundaria en un porcentaje muy elevado, como indican todos los datos. ¿La responsabilidad de estos fracasos la posee la secundaria o la primaria? El asunto se debe plantear por encima de las opciones de esa pregunta. Obviamente existe una combinación de factores que van desde las debilidades de la primaria hasta la incapacidad de la secundaria para ofrecer respuestas institucionales a los estudiantes que propicien su mejor rendimiento, o las variables endógenas (sociales o familiares) que afectan la situación de los jóvenes en ese momento tan delicado de sus vidas.

El asunto de fondo es reconocer que existe un serio problema en la calidad de la educación primaria, que el país deberá abordar desde varias dimensiones y en relación con los propósitos de nuestra investigación. Se invoca de nuevo una perspectiva integradora de las acciones que deben tomarse para potenciar la cobertura educativa con calidad.

En primer lugar, se trata de mejorar significativamente la calidad de la formación y capacitación de los maestros, con especial cuidado en las asignaturas con debilidades sistémicas (matemáticas). Las investigaciones en todas partes del planeta afirman con claridad que para el mejoramiento en el rendimiento de los estudiantes se requiere un mejoramiento sustancial de las destrezas y la formación de los maestros tanto en el conocimiento de las materias que enseñan como

en las destrezas pedagógicas (Carnoy, M., 2004). Las universidades tienen una importante responsabilidad en la pertinencia y calidad de la formación de maestros. (Sección 2.40, ¶ 3 - 5).

Debido a que el primer contacto formal que tienen los estudiantes con la matemática se da en la primaria, y dado el hecho de que la construcción de los conceptos matemáticos a nivel de secundaria se fundamenta en los obtenidos en primaria, entonces no es de extrañar que actualmente un porcentaje significativo de los trabajos de investigación y propuestas didácticas estén orientadas a plantear la formación profesional del maestro, pues tal y como menciona Mora (2006):

“... los individuos antes de iniciar cualquier estudio, tienen ya un conjunto de ideas muy propias acerca del cómo y el porqué de las cosas son como son. Estas ideas previas pueden ejercer una potente influencia que puede limitar el proceso de aprendizaje.

...

En relación con este aspecto, al analizar la situación de los estudiantes en la escuela, se observa que al tratar de comprender un concepto y explicarlo, elaboran construcciones personales con base en lo que han observado a su alrededor y en su interacción cotidiana con las personas que les rodean y con los medios de comunicación, como la televisión. Se forman así conocimientos que aunque no son correctos desde el punto de vista científico, le sirven al estudiante para comprender los conceptos estudiados. Estos conocimientos se evidencian a través del lenguaje cuando se le pide al alumno que exprese una definición sobre un determinado concepto.” (p. 2).

Por lo mencionado anteriormente, el papel del educador como mediador del aprendizaje a nivel de la enseñanza primaria es fundamental, por cuanto, requiere del dominio de los contenidos matemáticos que corresponden al nivel que debe

desarrollar y de apropiadas estrategias metodológicas para lograr un aprendizaje eficaz y crear una fuerte motivación hacia la matemática.

Como se mencionó, los problemas de un alumno en los niveles iniciales son capaces de escalar a lo largo de toda su formación. Esto es notorio a nivel de secundaria y repercute también en su escogencia de la carrera universitaria, como lo muestra un estudio hecho por el Consejo Nacional de Rectores (CONARE) en el 2011 y recopilado por el periódico La Nación, Villegas (2011). Este trata acerca de las carreras matriculadas por los estudiantes de primer ingreso en todas las universidades del país, y destaca como, en la Universidad de Costa Rica solamente el 22% de admitidos optó por alguna ingeniería y un 46% por una ciencia social, a pesar de que las primeras tienen una mayor demanda laboral.

Además en otra nota relacionada, “Pánico a matemática le quita atractivo a las ingenierías” Villegas (2011), se detalla cómo los jóvenes optan por carreras en las que no se emplee la matemática de manera constante y fuerte, por temor a esta disciplina. Para Idalí Cascante, directora del Departamento de Orientación y Psicología de la Universidad Nacional (UNA), el estudiante escoge su carrera “sin importar si hay pocas fuentes de trabajo o que el salario no sea tan alto”, y “toma en cuenta intereses, habilidades y el entorno en el que se ha desarrollado durante su vida”.

Lo anterior muestra una necesidad de mostrarle al alumno que no debe temer a la matemática y la ciencia. Para lograrlo, es deseable tratarlo desde las edades tempranas, de forma tal que el alumno vea estos contenidos sin complejos a fin de lograr que su vida futura, académica y profesional, no se vea afectada dramáticamente por carencias en dichos rubros.

## 1.2. Planteamiento del problema

En la actualidad, Costa Rica se ha propuesto atraer la inversión extranjera como estrategia para el crecimiento económico. Según Llobet (2012) las iniciativas actuales se centran en la atracción de industria relacionada con las ciencias de la vida, manufactura avanzada y el sector de servicios. De estos, los dos primeros sectores involucran un alto dominio de las matemáticas y el inglés, por parte de la fuerza laboral que requieren.

A pesar de esta necesidad, existen problemas con el dominio de la matemática y de las ciencias en todas sus áreas, los cuales han sido identificados por el propio Ministerio de Educación Pública (MEP). Como lo hacen ver Carvajal Granados y otros (2011), más de un 60% de los estudiantes de noveno año apenas domina los conocimientos más elementales de la matemática y solo un 7.88%, los más avanzados.

Este problema es estudiado desde hace varios años por académicos de universidades estatales; ejemplo de ello es la publicación “La educación Matemática en Costa Rica: Ideas y Recomendaciones” (2007), en el cual se enumeran diversos problemas en la enseñanza de la matemática, así como, sus posibles causas. Estos fueron planteados por docentes en una serie de simposios realizados entre los años 1994 y 1995.

Entre los temas tratados en los diferentes foros están las dificultades económicas generales que enfrentan tanto estudiantes como profesores, la mala capacitación de estos últimos, mal uso de los recursos existentes, métodos de enseñanza obsoletos que no motivan al estudiante, o que no son capaces de explicar al estudiante las aplicaciones prácticas de los conceptos. Muchos de estos problemas están presentes en las comunidades educativas y continúan sin resolverse completamente, mientras tanto las estadísticas del MEP siguen reflejando serios problemas de rendimiento académico, particularmente en la asignatura de matemática.

Ante este panorama, el Consejo Superior de Educación (CSE) ha decidido implementar cambios en los planes de estudio, basando los nuevos programas en el desarrollo de las habilidades, competencias y procesos por parte del estudiante. Dichos cambios están reflejados en los planes de estudio aprobados para el año 2013, los cuales intentan incorporar al estudiante de manera activa en los procesos de aprendizaje, haciéndolo el actor principal de su formación.

Los nuevos programas además buscan obtener una mayor inserción del costarricense en las disciplinas como ingenierías y ciencias (Barrantes Campos, y otros, 2012), de forma tal que se cumplan los requisitos para la mano de obra solicitada por los inversores extranjeros, así como el desarrollo de tecnologías y patentes en el país.

Además, estos programas presentan oportunidades para el desarrollo de propuestas alternativas de enseñanza de la matemática, mediante la utilización de métodos no convencionales; por ejemplo la implementación de la robótica como herramienta en la enseñanza de la matemática. Además, como todo cambio curricular, los nuevos programas requieren nuevos materiales y capacitación de docentes.

Por tanto, existe una necesidad tangible de material didáctico que contemple los objetivos planteados por el MEP en sus nuevos planes de estudio, y que brinde al profesor, la capacitación necesaria para implementar una herramienta novedosa de enseñanza.

Este proyecto tiene como objetivo hacer un aporte a la enseñanza de las Matemáticas en el país, facilitando material (guías, manuales, tutorías) para la utilización de la robótica como una herramienta motivacional en la enseñanza de la Matemática.

### **1.3. Justificación**

La propuesta del presente proyecto, intenta colaborar con las iniciativas actuales que buscan resolver algunos de los problemas presentes en la enseñanza de las Matemáticas en Costa Rica.

Los autores actualmente trabajan como profesores del Tecnológico de Costa Rica, Universidad estatal con énfasis en la formación técnica y tecnológica. A lo largo de su experiencia docente se han encontrado con estudiantes que presentan deficiencias en su formación matemática, pensamiento lógico, capacidad analítica y abstracción de conceptos, entre otras carencias.

Las deficiencias presentadas por los estudiantes que ingresan a la educación superior corresponden a objetivos establecidos en la educación media o niveles anteriores por lo que debieron ser resueltos durante su proceso de aprendizaje a través de los Ciclos de la Educación General Básica y la Educación Diversificada. Algunas de estas deficiencias que presentan los estudiantes son: dominio de fórmulas notables, conceptos geométricos básicos, razones y proporciones, factorización y manejo de expresiones algebraicas, además de una alta dependencia de la calculadora.

Lo anterior deja en claro la necesidad de fortalecer la enseñanza de la Matemática, tanto en primaria como en secundaria. También es importante considerar que entre más temprano se estimule el gusto por la ciencia y la matemática en la vida de una persona, es más fácil detectar y corregir los problemas que dicho individuo presente en estos ámbitos. De igual forma, la edad es un elemento importante de considerar a la hora de desarrollar conceptos matemáticos, en particular la edad de la educación primaria presenta condiciones apropiadas para asimilar conocimientos nuevos.

Existen campos de investigación novedosos que buscan solucionar problemas educativos mediante la unión de varias áreas del conocimiento incursionando en lo que se conoce como el campo de la robótica educativa. Este nuevo enfoque para

ser usado en los procesos de enseñanza-aprendizaje es atractivo como herramienta pedagógica, ya que motiva y entusiasma al alumno, involucra a disciplinas, como la matemática, física, ciencias de la computación y electrónica. Además, el docente puede orientar el aprendizaje del estudiante mediante ejemplos reales, logrando que el mismo asimile conceptos matemáticos.

Por tanto la presente investigación, busca estimular el gusto por la ciencia, la matemática y la tecnología, a partir de una herramienta interactiva, capaz de despertar curiosidad en niños en edad escolar. También intenta acercar al docente a nuevos paradigmas de enseñanza, y que se interese y entusiasme en la implementación de nuevas metodologías.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo general**

Diseñar y construir un robot para el apoyo de la enseñanza de la Matemática, como herramienta didáctica y motivacional.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Identificar conocimientos y habilidades de la asignatura de Matemática del programa de Educación Primaria, que puedan ser enseñados con ayuda de un robot programable.
- Diseñar actividades que utilicen un robot para complementar los conocimientos y las habilidades identificadas en el programa de educación primaria.
- Diseñar un robot capaz de ejecutar las actividades diseñadas.
- Construir un robot que cumpla con las especificaciones de diseño.
- Diseñar un manual de construcción del robot, para que el docente pueda armar su propio robot.
- Diseñar un programa de computadora que permita el control del robot de manera sencilla e intuitiva por parte del profesor y el estudiante.
- Ajustar el comportamiento del robot construido.
- Crear un instructivo para realizar el ajuste del comportamiento del robot, con el fin de que lo use el docente.
- Diseñar guías de trabajo para los estudiantes para desarrollar las actividades planeadas.
- Diseñar guías de trabajo, dirigidas a los docentes, que los orienten en el uso de las guías de trabajo creadas para los estudiantes.
- Probar el nivel de aceptación de la propuesta ante un grupo de profesores pertenecientes a una escuela de primaria.
- Probar el nivel de comprensión de las actividades diseñadas, por parte de un estudiante que curse el primer ciclo de escuela.

## 1.5. Alcances y limitaciones

### 1.5.1. Alcances

Los productos desarrollados durante la ejecución del proyecto son:

- Una propuesta para la elaboración de unidades de aprendizaje en la enseñanza de la Matemática.
- Una unidad de aprendizaje para desarrollar los contenidos de líneas rectas y líneas curvas, ángulos, polígonos y circunferencias. Tales contenidos son cubiertos en el programa existente para los alumnos de educación primaria, primer ciclo. Dicha unidad cuenta con:
  - Una guía de actividades para el estudiante.
  - Una guía para el docente que le oriente en el uso de las guías de trabajo creadas para los estudiantes.
  - Una guía de construcción del robot a utilizar en las actividades del estudiante.
  - Una guía de ajuste del comportamiento del robot.
  - Un software de control programado en JAVA, que permite operar el robot de manera sencilla e intuitiva.

### **1.5.2. Limitaciones**

- Durante esta primera etapa no se realizó una validación de las actividades en una Escuela debido a la espera de recursos para la adquisición de los equipos necesarios dentro de los cuales destacamos :
  - Se necesitan dos kits educativos (#ref 9695, #ref 9797) de la serie LEGO Mindstorms para la construcción de cada robot.
  - El costo aproximado de los dos kits más el cargador eléctrico del robot es de ¢360.000 (\$713).
  - Las actividades diseñadas para este robot pueden ser ejecutadas con comodidad por un máximo de dos niños por robot.
  - Para el trabajo en el aula con un grupo de 30 estudiantes, se necesitarían 15 robots.

### **1.6. Organización de los capítulos**

En el capítulo 2 se aborda el Estado de la Cuestión. Este se inicia con una pequeña referencia a los paradigmas de la educación, la reforma educativa en Costa Rica y la educación primaria; luego se introduce el tema de la robótica, su historia, su interacción en la educación y algunas experiencias de su implementación a nivel nacional e internacional. Por último se explican algunas experiencias del uso de la robótica en la enseñanza de la matemática.

En el capítulo 3, se detalla una propuesta para la creación de una lección de matemática utilizando un robot programable como herramienta didáctica. En esta sección se explican los pasos necesarios para la planeación de la lección, desde la escogencia de los conocimientos y habilidades del programa de estudios, hasta la elaboración de las guías para el estudiante y el docente.

También se le explica al docente, cuáles son los aspectos más relevantes que contiene dicha propuesta. De esta forma, si el docente desea aplicarla para la enseñanza de nuevos conocimientos, él pueda desarrollar las unidades de aprendizaje necesarias.

Luego, en el capítulo 4 se muestran los criterios técnicos y de diseño que se utilizaron para escoger la configuración final del robot dibujante “GeoBot”. Para esta propuesta se detallan todos los módulos que comprenden el ensamble final, y la funcionalidad de cada uno.

Posteriormente en el capítulo 5 se describe el software diseñado para controlar mediante una computadora personal, el cerebro Mindstorms® del robot. Este se realizó mediante el lenguaje de programación JAVA. Además, se esquematizan las secciones del programa y su función, las variables y algoritmos necesarios para su creación. También se indica el proceso necesario para instalarlo en cada cerebro y se incluye un apartado que explica como ajustar el comportamiento del robot luego de armado.

En el capítulo 6 se muestra una serie de pruebas de los productos obtenidos en el desarrollo del presente proyecto. En primer lugar se verifica la funcionalidad y robustez del robot dibujante y todos sus componentes. En segundo lugar se verifican cualidades como: Correctitud, Confiabilidad y Robustez de la aplicación de software que sirve de interfaz entre el usuario y el robot. Se agregó las apreciaciones de un grupo de docentes de primaria a quienes se les presento la propuesta planteada en este proyecto. Y por último, la prueba realizada con las guías y el robot, por un estudiante de 8 años.

En el capítulo 7 se enumeran las principales conclusiones del proyecto. Y en el capítulo 8 las recomendaciones en futuras líneas de investigación.

En el anexo se presentan algunas definiciones estadísticas que se utilizaron en el capítulo de Ensayo de Prueba.

En los apéndices se ofrecen todos los productos desarrollados: las guías de trabajo para el docente, las guías de trabajo para los estudiantes, la guía de construcción del robot, la guía de ajuste del comportamiento del robot, los datos y análisis estadísticos para el capítulo de prueba, la encuesta presentada a los docentes y la guía de instalación del software en la computadora y en el cerebro del robot.

## **Capítulo 2.**

### **Estado de la Cuestión**

---

En el presente capítulo se hace un recorrido por las principales corrientes pedagógicas que han nutrido al sistema educativo costarricense. Se inicia con el conductismo, el cual ha servido de fundamento teórico a las lecciones magistrales; posteriormente se presentan aquellas que fomentan el trabajo participativo e individual de los alumnos, como el constructivismo, el aprendizaje significativo, y la resolución de problemas. Actualmente, estas últimas han adquirido gran importancia, pues constituyen el fundamento teórico que sustenta la propuesta de los nuevos programas de Matemática aprobados por el Ministerio de Educación Pública de Costa Rica y que empezaron a regir a partir de enero del 2013.

Luego se introduce el tema de la robótica, se describe su relación con la ingeniería mediante una serie de definiciones esenciales. Posteriormente se detallan varios casos donde se buscó implementar la robótica en la educación a nivel nacional e internacional. Como una experiencia destacada se incluye el caso de Celia Ribeiro, Clara Coutinho y Manuel F. Costa, investigadores de la Universidad de Minho, Portugal, quienes han implementado la robótica en la educación matemática, en temas como la resolución de problemas relacionados principalmente mediante multiplicación y división.

#### **2.1. Paradigmas de la educación**

Entre los autores que han estudiado los diferentes paradigmas educativos se encuentra Segura (2010), quien describe el desarrollo de esta temática a lo largo de los últimos cien años. Este autor indica como tradicionalmente los procesos de

enseñanza a nivel de secundaria, se han centrado en el enfoque conductista, propuesto por Watson, Thorndike y Skinner en el inicio del siglo XX.

Para Segura “el aprendizaje, desde una perspectiva conductista, es definido como un cambio observable en el comportamiento... únicamente ocurre cuando hay un cambio en el comportamiento. Si no hay cambio observable, no hay aprendizaje. La asignación de calificaciones, recompensas y castigos son también aportaciones de esta teoría” (p.18).

Este enfoque es ampliamente utilizado hoy en día, gracias a que acerca el proceso de enseñanza con el método científico, lo que permite obtener resultados medibles. Sin embargo, se le critica, pues aunque funciona bien en procesos educativos tempranos relacionados con actividades memorísticas, “no es fácilmente traspasable a otras situaciones” (Segura, 2010) (p.18). Lo anterior hace que se entienda al proceso de aprendizaje como una acción mecánica y deshumanizada.

En contraposición al enfoque conductista, Vigotsky (1920) citado por Hernández Rojas (1997), postula su modelo de aprendizaje sociocultural, donde el medio en que se desenvuelve el estudiante ejerce una gran influencia. Para Vigotsky, el aprendizaje es algo social más que biológico.

En síntesis, se afirma en este paradigma que es imposible estudiar la psicología del individuo sin tomar en cuenta el contexto histórico y cultural del mismo. Con esto se distancia más del paradigma conductista, al considerar no solo la forma en que el sujeto procesa la información, sino también el ambiente en el que se desenvuelve. En este caso el profesor es un facilitador de información, un mediador entre el estudiante y el estímulo (Calero Pérez, 2008).

Otra reacción al conductismo, denominada paradigma cognitivo, plantea el estudio de los procesos mentales, y su relación con el procesamiento de la información (Pozo, 2003). Este autor considera el aprendizaje como una modificación de las estructuras mentales y adquisición de nuevos conocimientos.

En forma paralela surgen otros movimientos que postulan que aprender es un proceso relativo al individuo, influenciado por sus actitudes, antecedentes y motivaciones particulares. Dentro de estos se encuentra Piaget con su trabajo en psicología genética, en el cual “el desarrollo intelectual va de la mano con el afectivo... en la medida que la adquisición de una habilidad o destreza conlleva necesariamente una adquisición en el plano cognitivo, motriz y emocional” (Calero Pérez, 2008)

Piaget plantea otro concepto de inteligencia, en el cual el pensamiento se forma a partir de las interacciones del sujeto con su medio. Conforme cambia el medio el sujeto se ve forzado a adaptarse, y evolucionar mediante el paso por cuatro etapas concretas, sensorio motor, pre-operatorio, operatorio concreto y operatorio formal (Calero Pérez, 2008).

Por otra parte, el paradigma constructivista es uno de los últimos que ha surgido y está constituido por varias de las ideas principales de sus antecesores. Plantea que el aprendizaje es activo, y que cada nueva idea se incorpora a una red de conocimiento previamente asimilado (Segura, 2010). Esta idea nueva no está suelta, sino que aporta para la construcción de nuevo conocimiento. Es en este proceso donde el alumno tiene un rol más marcado en su aprendizaje, en comparación con los demás paradigmas.

También son importantes los trabajos de Ausubel y sus planteamientos en aprendizaje significativo, en donde el nuevo conocimiento asimilado por el alumno se nutre del anterior (Calero Pérez, 2008). Entonces, el aprendizaje es una representación de la realidad por parte del individuo, donde utiliza las herramientas que tiene a mano para resolver los problemas que se le plantean. A su vez, al considerar al estudiante en capacidad de aprender y enseñarse a aprender, el maestro queda limitado a facilitar experiencias didácticas para el alumno.

Jiménez Builes y otros (2011) mencionan a Papert y sus aportes al desarrollo del constructivismo, entre los que se destaca la idea de que el conocimiento no solo

se crea en la mente del individuo, sino que "...es necesario que este construya algo tangible, algo fuera de su mente, que además tenga un significado especial para él..." con el fin de que la experiencia ayude en la construcción del conocimiento.

Papert destacó en campos como la inteligencia artificial y la robótica educativa, con la creación del lenguaje de programación Logo, en el cual plasmó las ideas principales de su teoría. Además construyó un robot llamado la "tortuga de Logo" que permitía a los alumnos resolver problemas (Astolfo, Ferrari, & Ferrari, 2007).

Los anteriores son los paradigmas más relevantes que se han desarrollado durante el último siglo a nivel educativo. Su surgimiento e implementación permite entender el estado actual de las distintas iniciativas educativas que se busca implementar a nivel mundial. Costa Rica no es un caso aparte; por tanto la evolución de las diferentes estrategias educativas del país se estudia en la siguiente sección.

## **2.2. Reforma de la educación matemática**

Como ya se mencionó en el capítulo 1, el ciclo educativo costarricense comprende cuatro niveles: Educación Preescolar, Educación Primaria, Educación Media y Educación Superior. Según la Ley Fundamental de Educación: "La enseñanza primaria es obligatoria; esta, la Preescolar y la Media son gratuitas y costeadas por la nación". (Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica, 1957).

Desde el establecimiento del sistema educativo, se planteó que la educación general básica tuviera como uno de sus fines en la formación del individuo en una forma integral, tanto del punto de vista humanístico como técnico. Es por esta razón que desde un inicio las propuestas curriculares que se implementaron a nivel nacional, plantearon procesos de enseñanza aprendizaje que consideraban aspectos del conductismo, pero también de las otras corrientes psicológicas.

Un ejemplo de lo anterior es el programa de estudios de matemática utilizado hasta el 2012, el cual plantea que “...Una Matemática desprovista de la participación activa del sujeto y desconectada del entorno físico y social, solo puede afectar negativamente el interés por las matemáticas y su asimilación en el largo plazo...” (Vargas, Rodríguez, Rodríguez y Rojas, s.f.). Sin embargo, aunque estos programas tienen una riqueza teórica en la exposición de las diferentes corrientes pedagógicas, la realidad en el aula es totalmente diferente donde los métodos pedagógicos que predominan son expositivos y que fomentan la pasividad de los alumnos.

Dentro de estas iniciativas destaca la impulsada por el MEP con el fin de mejorar la calidad de la enseñanza. En particular la llamada reforma de la educación matemática de Costa Rica, la cual, mediante los planes de estudio de Matemáticas para el periodo 2013-2014, pretende enfatizar “el trabajo con problemas asociados a los entornos reales, físicos, sociales y culturales...” y asume que usarlos es “...una poderosa fuente para la construcción de aprendizajes en Matemáticas.” (Barrantes Campos, y otros, 2012).

También en esta reforma se define la competencia matemática como la capacidad de “usar la matemáticas para entender y actuar sobre diversos contextos reales”. En ese sentido el docente es un organizador de actividades que faciliten la comprensión de los temas, y que estas estén conceptualizadas como “*procesos matemáticos*”. Estos procesos son: “Razonar y argumentar, plantear y resolver problemas, conectar, comunicar y representar”, los cuales serán representados en el aula y su constante ejecución durante todos los años lectivos permite “generar el progreso de la competencia matemática” (Barrantes Campos, y otros, 2012).

Es importante destacar que el uso de competencias matemáticas no es algo novedoso en la nueva propuesta curricular, pues está incluido en los actuales programas vigentes hasta el 2012; lo novedoso es *el énfasis que se le da a la*

*resolución de problemas por parte del alumno frente al sistema expositivo, por parte del profesor.*

Para la creación de su propuesta, específicamente en el área de las Matemáticas, el MEP se basó en cinco ejes disciplinares "...La resolución de problemas como estrategia metodológica principal, la contextualización activa como un componente pedagógico especial, el uso inteligente y visionario de tecnologías digitales, la potenciación de actitudes y creencias positivas en torno a las matemáticas y el uso de la historia de las matemáticas...". El planteamiento de estos ejes lo hace basándose en condiciones especiales del contexto costarricense, como el reducido papel que tiene la resolución de problemas en el aula y la casi ausencia de la tecnología tanto en la teoría como en la práctica.

En este contexto, el MEP deja la puerta abierta a la innovación en las técnicas de enseñanza amparadas por una perspectiva cognitiva y enfatizada en la necesidad de incorporar las herramientas tecnológicas más recientes, de forma tal que el estudiante se estimule y aprenda de sus experiencias, orientadas a la consecución de un objetivo planteado. Sin embargo tal objetivo se encarga de orientar al estudiante en su práctica y no intenta ser el fin último de la actividad, como lo sería la obtención de habilidades durante el proceso.

### **2.3. Educación primaria**

En Costa Rica la educación primaria se compone de un primer y un segundo ciclo; el primer ciclo corresponde a primer, segundo y tercer año el cual comprende a niños y niñas entre 7 y 9 años. Y el segundo ciclo a cuarto, quinto y sexto año, con niños entre 10 y 12 años.

Según la Ley Fundamental de la Educación, la educación primaria tiene por finalidades las siguientes:

- Estimular y guiar el desenvolvimiento armonioso de la personalidad del niño;
- Proporcionar los conocimientos básicos y las actividades que favorezcan el desenvolvimiento de la inteligencia, las habilidades y las destrezas, y la creación de actitudes y hábitos necesarios para actuar con eficiencia en la sociedad;
- Favorecer el desarrollo de una sana convivencia social, el cultivo de la voluntad de bien común, la formación del ciudadano y la afirmación del sentido democrático de la vida costarricense;
- Capacitar para la conservación y mejoramiento de la salud;
- Capacitar para el conocimiento racional y comprensión del universo;
- Capacitar, de acuerdo con los principios democráticos, para una justa, solidaria y elevada vida familiar y cívica;
- Capacitar para la vida del trabajo y cultivar el sentido económico-social;
- Capacitar para la apreciación, interpretación y creación de la belleza;
- Cultivar los sentimientos espirituales, morales y religiosos, y fomentar la práctica de las buenas costumbres según las tradiciones cristianas (Asamblea Legislativa, 1957).

Las asignaturas principales que se trabajan en la educación primaria son: Matemática, Español, Estudios Sociales, Ciencias y Lengua Extranjera. Al lado de estas también los estudiantes llevan asignaturas complementarias: Educación Religiosa, Educación Musical, Educación Agrícola, Educación Física, Educación para el Hogar, Artes Plásticas y Artes Industriales.

Según Barrantes Campos y otros (2010), en los programas de estudio en Matemática, los conocimientos básicos que debe tener un estudiante al entrar al primer año son los siguientes:

Cuadro 1. Conocimientos básicos para el primer año

Conocimientos Básicos				
<u>Tamaño</u>	<u>Noción dimensional</u>	<u>Ubicación espacial</u>	<u>Distancia</u>	<u>Cantidad</u>
Más grande	longitud, anchura, espesor		Lejos Cerca	Mucho
Más pequeño				Poco
Igual que				Igual
Tan grande como				Uno
Tan pequeño como				Ninguno
				Todos
	Alguno			
	Más que			
	Menos que			
	Correspondencia uno a uno			

Fuente: Barrantes Campos y otros, 2012

En estos mismos programas, los autores citados mencionan que los contenidos<sup>3</sup> a trabajar en el primer y segundo ciclo son:

<sup>3</sup> Los contenidos mencionados se explican brevemente; si se desea profundizar se puede observar el Programa de Estudio en Matemática, el cual se puede obtener en la dirección: [http://www.mep.go.cr/downloads/RecursosTecnologicos/Programa\\_matematicas.pdf](http://www.mep.go.cr/downloads/RecursosTecnologicos/Programa_matematicas.pdf)

Cuadro 2. Contenidos básicos para el primer año del primer ciclo

1 <sup>er</sup> Año				
Números	Geometría	Medidas	Relaciones y álgebra	Estadística y probabilidad
Números naturales Operaciones con números naturales	Conocimientos básicos	Longitud Moneda Peso Tiempo Capacidad	Sucesiones Expresiones matemáticas	<u>Estadística</u> El dato La variabilidad de los datos Recolección de información Presentación de información  <u>Probabilidad</u> Situaciones

Fuente: Barrantes Campos y otros, 2012

Cuadro 3. Contenidos básicos para el segundo año del primer ciclo

2° Año				
Números	Geometría	Medidas	Relaciones y álgebra	Estadística y probabilidad
Números naturales Operaciones con números naturales Cálculos y estimaciones	Líneas Figuras planas Cuerpos sólidos	Longitud Moneda Peso Tiempo Capacidad	Sucesiones	<u>Estadística</u> El dato La variabilidad de los datos Recolección de información Representación de información Medidas de resumen <u>Probabilidad</u> Situaciones o experimentos Eventos

Fuente: Barrantes Campos, y otros, 2012

Cuadro 4. Contenidos básicos para el tercer año del primer ciclo

3 <sup>er</sup> Año				
Números	Geometría	Medidas	Relaciones y álgebra	Estadística y probabilidad
Números naturales	Ángulos	Longitud	Sucesiones	<u>Estadística</u>
Operaciones	Rectas	Moneda	Relaciones	El dato
Cálculos y estimaciones	Segmentos	Peso	Representaciones	Recolección de información
	Posición y localización	Tiempo		Representación de información
	Polígonos	Capacidad		Medidas de resumen
	Circunferencia			<u>Probabilidad</u>
	Cuerpos sólidos			Situaciones o experimentos
				Eventos

Fuente: Barrantes Campos, y otros, 2012

Cuadro 5. Contenidos básicos para el primer año del segundo ciclo.

4° Año				
Números	Geometría	Medidas	Relaciones y álgebra	Estadística y probabilidad
Números naturales	Triángulos	Superficie	Sucesiones	<u>Estadística</u>
Operaciones	Cuadriláteros	Moneda	Representaciones	El dato
Fracciones	Polígonos	Temperatura	Relaciones	Recolección de información
Decimales	Cuerpos sólidos	Tiempo	Propiedades de las operaciones	Representación de información
Cálculos y estimaciones	Simetría	Sistema métrico decimal		Medidas de posición
		Ángulos		Medidas de variabilidad
				<u>Probabilidad</u>
				Situaciones o eventos aleatorios
				Eventos

Fuente: Barrantes Campos, y otros, 2012

Cuadro 6. Contenidos básicos para el segundo año del primer ciclo

5° Año				
Números	Geometría	Medidas	Relaciones y álgebra	Estadística y probabilidad
Números naturales	Perímetro	Moneda	Relaciones Representaciones	<u>Estadística</u>
Teoría de números	Área	Longitud		Población y muestra
Fracciones	Geometría analítica	Peso		Recolección de información
Decimales	Transformaciones	Capacidad		
Cálculos y estimaciones	Cuerpos sólidos	Superficie		
	Simetría	Tiempo		
		Ángulos		<u>Probabilidad</u> Eventos

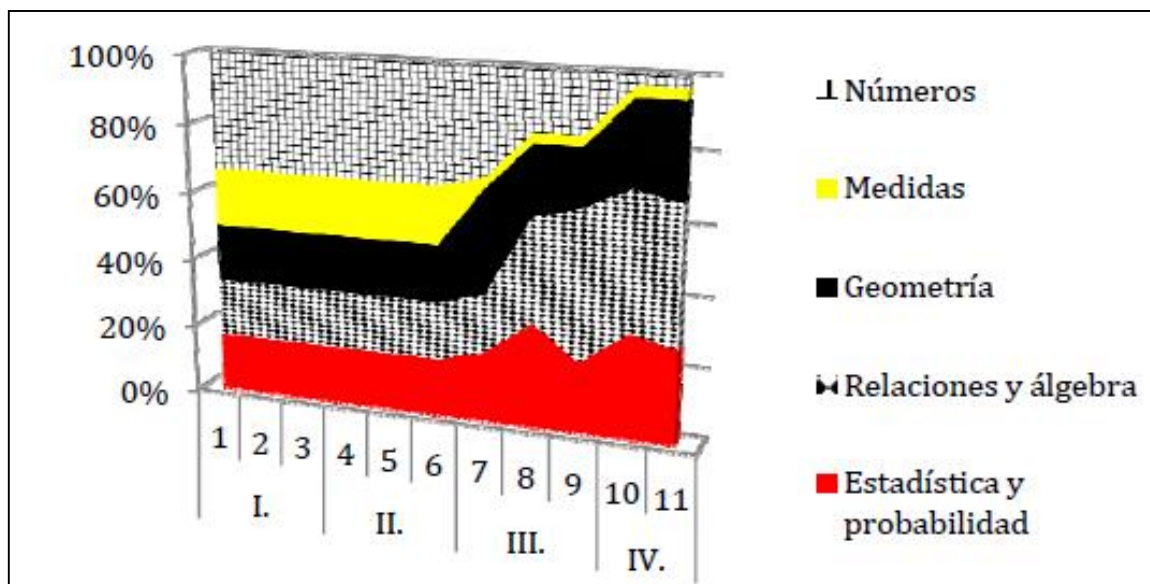
Fuente: Barrantes Campos, y otros, 2012

Cuadro 7. Contenidos básicos para el tercer año del segundo ciclo

6° Año				
Números	Geometría	Medidas	Relaciones y álgebra	Estadística y probabilidad
Teoría de números	Circunferencia	Volumen		<u>Estadística</u>
Números naturales	Polígonos regulares	Longitud		Porcentajes
Fracciones	Cuerpos sólidos	Masa	Relaciones	Diagramas lineales
Operaciones	Simetrías	Capacidad	Representación	Resolución de problemas
Cálculos y estimaciones		Superficie	Ecuaciones	
		Tiempo		<u>Probabilidad</u>
		Temperatura		Probabilidades
		Moneda		Propiedades de las probabilidades

Fuente: Barrantes Campos, y otros, 2012

En la información presentada anteriormente se nota que la asignatura de Matemática está dividida en cinco áreas a saber: números, geometría, medidas, relaciones y álgebra y estadística y probabilidad. Estas cinco áreas participan con distinta intensidad en cada uno de los años. En la Figura 1, se puede observar esta distribución.



Fuente: Barrantes Campos y otros, 2012.

Figura 1. Las cinco áreas matemáticas en los cuatro ciclos lectivos.

Sin embargo en primaria (primer y segundo ciclos) se mantiene constante la distribución de las áreas, por lo que queda con una mayor proporción el área de números.

De acuerdo con los autores citados: “El primer ciclo de la Educación General Básica es esencial para la enseñanza de las Matemáticas, pues es el primer contacto que tienen los estudiantes con una materia frente a la que existen con frecuencia actitudes negativas, incluso antes de iniciarse la escolaridad.”

Por lo anterior, es durante el primer ciclo, cuando los docentes para cambiar esta primera percepción que tendrán los estudiantes de esta materia. Es justo donde se vuelve más importante que el estudiante encuentre y tenga clara la finalidad de lo que se le está enseñando y su utilidad en el entorno físico y social.

Durante este primer ciclo, la enseñanza debe ofrecer un sentido intuitivo apegado al entorno físico y social, a lo sensorial, lo pictórico, para luego poco a poco ir

introduciendo mayores niveles de representación, simbolización y abstracción matemáticas (Barrantes Campos, y otros, 2012).

Además según Báez e Iglesias (2007) y Jones (2002) mencionados por Gamboa Araya y Ballesterero Alfaro (2010), “la geometría ha sido considerada como uno de los pilares de formación académica y cultural del individuo, dada su aplicación en diversos contextos; su capacidad formadora del razonamiento lógico; y su contribución en el desarrollo de habilidades para visualizar, pensar críticamente, intuir, resolver problemas, conjeturar, razonar deductivamente y argumentar de manera lógica en procesos de prueba o demostración.”

Sin embargo, los últimos autores también mencionan que usualmente en primaria y secundaria los contenidos de geometría son presentados al estudiantado como un producto final, el cual se ha enfatizado en la memorización de fórmulas y definiciones geométricas, apoyadas en construcciones mecanicistas y descontextualizadas. Incluso autores como Abrate, Delgado y Pochulu (2006) mencionados por Gamboa Araya y Ballesterero Alfaro (2010) señalan que “algunos docentes priorizan la enseñanza de las matemáticas en otras áreas y van desplazando los contenidos de geometría hacia el final del curso, lo que les implica, en variados casos, la exclusión de estos temas o su atención de manera superficial.”

De situaciones como las anteriores, surge la importancia de encontrar métodos para introducir la geometría en la educación escolar con objetos que representen situaciones del entorno; por ejemplo, un círculo se puede ver representado por una moneda, un cuadrado por un tablero de juegos; o un triángulo por algún otro juguete.

Estas habilidades para reconocer círculos, cuadrados y triángulos ya debe tenerlas un niño al entrar a primer ciclo; sin embargo, durante esta etapa se deben reforzar y avanzar en reconocer estas y otras figuras en situaciones en las que parezcan menos evidentes. Además, el docente debe servir como un facilitador de experiencias o problemas donde el estudiante tenga o desarrolle la

habilidad de utilizar los conocimientos ya adquiridos en la resolución de dichos problemas, para así poder puntualizar la aplicación de lo que está aprendiendo en su entorno.

Estas prácticas son las que el MEP desea reforzar y así lo indica en los planes de estudio de Matemáticas para el periodo 2013-2014. Además, Barrantes Campos y otros (2012) señalan que: “El propósito de la enseñanza en Geometría es desarrollar la capacidad de visualizar las formas geométricas y algunas relaciones básicas entre ellas en el entorno en el que se desenvuelven, así como iniciar un proceso de abstracción geométrica.”

Es evidente como se insiste en la relación que debe de tener la enseñanza de la geometría y el entorno en el que se desenvuelven los estudiantes. Esto, con el fin de lograr un sentido de pertenencia con los conocimientos adquiridos y una utilidad de las habilidades desarrolladas en geometría. Estas también son mencionadas por los autores citados y se señalan a continuación:

- Visualizar y reconocer figuras geométricas planas básicas (triángulos, cuadriláteros, circunferencias) en el entorno y en diversos objetos.
- Reconocer líneas rectas y curvas en el entorno y en diversos objetos.
- Visualizar y reconocer sólidos básicos (esferas, cubos, cajas) en el entorno y en diversos objetos.
- Utilizar vocabulario geométrico elemental.
- Reproducir y trazar figuras geométricas básicas a mano alzada o utilizando instrumentos.

Lo anterior se ve reforzado por el National Council of Teachers of Mathematics [NCTM] (2012) en una revisión de sus estándares de matemática, en el tema específico de geometría; se tienen los siguientes 4 estándares (los cuales se dividen en expectativas más específicas):

- Analizar las características y propiedades de formas geométricas de dos y tres dimensiones, así como desarrollar argumentos matemáticos sobre relaciones geométricas.

- Especificar ubicaciones y describir relaciones espaciales usando coordenadas geométricas con otros sistemas de representación.
- Aplicar transformaciones y usar simetría para analizar situaciones matemáticas.
- Utilice la visualización, razonamiento espacial y modelos geométricos para resolver problemas.

## 2.4. Robótica

### 2.4.1. Definición de robot

Las definiciones acerca de lo que es un robot son variadas; entre ellas se puede citar las que recopila E. Dapena (s.f.) en su Curso de Robótica.

- La Asociación Francesa de Normalización define robot como un “manipulador automático servo-controlado, reprogramable, polivalente, capaz de posicionar y orientar piezas, útiles o dispositivos especiales, siguiendo trayectorias variables reprogramables, para la ejecución de tareas variadas”.
- Dapena lo define como “una plataforma mecánica dotada de un sistema de locomoción y un sistema de percepción que le permite desplazarse en un determinado entorno con cierta autonomía”.

Igualmente, otras definiciones las recopilan Ruiz del Solar, J., & Salazar, R. (s.f.) como por ejemplo:

- Según el Instituto de Robótica de América (Robot Institute of America, 1979) un robot es un dispositivo reprogramable y multifuncional diseñado para mover materiales, piezas, herramientas o dispositivos especializados a través de movimientos programados.

- Finalmente Webster lo define como un dispositivo automático que realiza funciones que normalmente se consideran o deben ser realizadas por humanos.

Por otra parte, Dapena (s.f.) explica cómo estas definiciones quedan obsoletas rápidamente y es necesario replantearlas constantemente, por lo cual solo sirven como una referencia para entender los aspectos más generales del problema.

En el caso de la robótica, sucede algo similar; sin embargo, se puede definir más claramente si se observan las disciplinas que se relacionan entre sí en este campo. Según Ruiz del Solar, J., & Salazar, R. (s.f.), se encuentran la ingeniería eléctrica, mecánica, electrónica, las ciencias de la computación, matemáticas, física, entre otras.

## **2.4.2. Historia**

El desarrollo de la robótica ha ocurrido durante los últimos cien años. Mediante las descripciones de Ruiz del Solar, J., & Salazar, R. (s.f.) y Dapena (s.f.), la historia de la robótica en el último siglo se puede resumir de la siguiente manera:

- 1921. El checo Karel Kapek introduce el término robot a partir de la combinación de las palabras robota y robotnik que significan, trabajo obligatorio y siervo, respectivamente.
  - 1926. Thea Von Harbou escribe la novela Metrópolis, en donde un androide llamado “María” manipula a la fuerza laboral de una sociedad altamente industrializada.
  - 1945. Isaac Asimov publica en la revista Galaxy Science Fiction, una historia donde enuncia sus tres leyes de la robótica
1. Un robot no puede perjudicar a un ser humano, ni con su inacción permitir que un ser humano sufra daño.

2. Un robot debe obedecer las órdenes recibidas de un ser humano, excepto si tales órdenes entran en conflicto con la primera ley.
3. Un robot debe proteger su propia existencia mientras tal protección no entre en conflicto con la primera o segunda ley.

Además, en 1985 Asimov, publica una cuarta ley también conocida como ley Cero, la cual plantea que un robot no puede lastimar a la humanidad, o por falta de acción, permitir que la humanidad sufra daños, aun cuando ello entre en conflicto con las otras leyes.

Estas leyes, aunque nacieron de la ciencia ficción han servido históricamente como punto de desarrollo importante para el desarrollo de la robótica a nivel académico.

- 1954. C.W. Kenward la aplica para la patente del diseño de un robot; esta se publica en 1957.
- 1959. Se introduce el primer robot comercial, llevado al mercado por Planet Corporation.
- 1961. Se instala en Ford el robot Ultimate para servir en una máquina de fundición.
- 1966. Trallfa, una empresa Noruega, construye e instala un robot que pinta.
- 1975. El robot Olivetti Sigma se utilizó en operaciones de ensamblaje
- 1979. Desarrollo de un robot tipo SCARA (Selective Compliance Arm Robotic Assembly), en la Universidad de Yamanashi, Japón para tareas de ensamblaje.
- 1981. Un robot desarrollado en la Universidad Carnegie-Mellon, introduce el concepto de articulaciones.
- 1984. Se funda la RIA (Robotics Industries Association) en Estados Unidos, y la AFRI (Asociación Francesa de Robótica Industrial).
- 1986. Honda crea su primer robot bípedo.
- 1997. La NASA logra colocar un vehículo explorador controlado a distancia, en la superficie de Marte, conocido como Sojourner.

- 1998. La firma de juguetes educativos LEGO introduce al mercado el paquete Mindstorms, con el cual los niños son capaces de crear y programar sus propios robots.
- 1999. La firma de electrónicos SONY coloca en el mercado el juguete robótico AIBO, con forma de perro.
- 2007. Honda presenta su última versión del robot Asimo, robot capaz de brincar, correr, subir y bajar escaleras entre otros movimientos típicos de los seres humanos.

## **2.5. Robótica educativa**

La robótica educativa es un campo de investigación y trabajo en amplia expansión como lo refleja la gran cantidad de artículos y proyectos específicos que se ejecutan a nivel práctico en la educación general básica (primaria y secundaria). Cuenta actualmente con un gran auge en países como Portugal, España, Dinamarca, México, Venezuela entre otros.

A pesar de esto y otros factores, como el apoyo que recibe por parte de las autoridades educativas, la existencia de educadores preocupados por mejorar el proceso enseñanza-aprendizaje y la motivación que genera en los alumnos, es un área de conocimiento poco conocida. Inclusive en ocasiones es mal interpretada como inteligencia artificial, lo que genera temores en el público poco conocedor de las ventajas de su uso en los diferentes niveles de la educación general básica.

En esta sección se pretende presentar parte de la labor que se realiza a nivel internacional y nacional en el campo de la robótica. Dada la gran cantidad de documentación encontrada no se pretende ser exhaustivos; por el contrario, se remite al lector interesado a consultar la bibliografía que se ofrece al final del documento.

La robótica educativa es esencialmente una actividad diseñada con el propósito de crear un nuevo escenario donde los participantes aprenden los fundamentos de la robótica, en un entorno de enseñanza basado en la creatividad y la experimentación. Se idean, diseñan y construyen robots educativos, aprendiendo a controlar sus creaciones desde el computador y haciendo uso de un lenguaje de programación gráfico.

Según Ribeiro, et al (2011), esta “ha sido adoptada como una de las herramientas educativas emergentes con mayor potencial ya que es adecuada en la enseñanza de resolución de problemas en los cuales se desafía el pensamiento crítico de forma activa, elevando el interés y motivación por otras materias complementarias (matemática, física, educación tecnológica)”.

Como complemento de la enseñanza de la robótica en los centros educativos, se encuentra el uso de las tecnologías de información y comunicación (TICS), las cuales se convierten en un recurso poderoso para que los docentes promuevan ambientes de aprendizaje interdisciplinarios. Los estudiantes adquieren habilidades para estructurar investigaciones y resolver problemas concretos, para que de esta manera se conviertan en personas con capacidad de ingresar al mundo digital.

### **2.5.1. Potencial pedagógico**

La robótica educativa puede ser utilizada como una herramienta para acercar al estudiante a una experiencia multidisciplinaria, ya que para la construcción del robot se vuelve necesario la incorporación de diferentes áreas; tal como lo menciona Sánchez Colorado (s.f.): “... es necesario tener conocimientos de mecánica para poder construir la estructura del robot. También se requieren conocimientos de electricidad para poder animar desde el punto de vista eléctrico al robot. Asimismo, es importante tener conocimientos de electrónica para poder dar cuenta de la comunicación entre el computador y el robot. Finalmente, es

necesario tener conocimientos de informática para poder desarrollar un programa en cualquier lenguaje de programación que permita controlar al robot”. (p.3, 4).

También, Sánchez Colorado, menciona que “Uno de los grandes retos de la Robótica Pedagógica, es demostrar que los estudiantes si pueden construir sus propias representaciones y conceptos de la ciencia y de la tecnología, mediante la utilización, manipulación y control de ambientes de aprendizajes robotizados, a través de la solución de problemas concretos. De esta manera, los proyectos se tornan significativos para ellos” (p.4).

Según Zapata, mencionado por Ribeiro, et al (2011), este considera la robótica educativa como una herramienta pedagógica que:

- Crea ambientes de aprendizaje y de interés motivadores
- Establece al profesor como un facilitador del aprendizaje y al alumno como el constructor activo de su aprendizaje.
- Promueve los ejes transversales curriculares, ya que necesita de diversos conocimientos para encontrar la solución al problema que se le presenta.
- Permite establecer relaciones interpersonales, ya que requiere de trabajo en equipo para dar solución al problema que se le plantea.

La robótica educativa puede contribuir al desarrollo del proceso de enseñanza-aprendizaje ya que lleva al estudiante a preguntar, pensar y encontrar soluciones que le permiten crear una interacción con el mundo circundante, y, por lo tanto, desarrollar la capacidad de formular y considerar los problemas. Por otro lado, implementa un conjunto de supuestos pedagógicos que dan lugar a las teorías de aprendizaje más innovadoras donde se incluye el constructivismo, el aprendizaje interdisciplinario y de colaboración, el aprendizaje basado en la resolución de problemas o basado en proyectos.

En relación con la evolución de dichas teorías Resnick M., mencionado por Jiménez Builes, Ramírez Patiño, & González España (2011), define la época actual como una sociedad de la creatividad, en la cual la información y el conocimiento sean utilizados para generar soluciones.

Según lo mencionan Ribeiro et al 2011, algunas de las características de la robótica educativa como una herramienta pedagógica son:

- **Motivación y entusiasmo de los alumnos:** de acuerdo con diversos estudios que se han hecho sobre el uso de esta herramienta, los estudiantes que tienen el privilegio de trabajar en robótica educativa manifiestan un gran entusiasmo, interés y compromiso en llevar a cabo las actividades que se les pide.
- **Es una herramienta multidisciplinaria:** proporciona un conjunto de actividades interdisciplinarias que promueven el aprendizaje a través de diversos temas y que involucra diversas disciplinas; entre estas están física, matemática, ciencias de la computación y electrónica. De esta manera, cuando un estudiante se enfrenta a un problema, necesita involucrar el conocimiento de diferentes áreas para poder solucionarlo.
- **Aprendizaje basado en proyectos:** los estudiantes pueden crear proyectos que simulen lugares y situaciones que conocen; ya sea como un trabajo en el aula donde al estudiante se le plantea un proyecto en el cual se pretende el aprendizaje de conceptos iniciales de matemática, física entre otros; o en eventos robóticos donde se promueve la competencia entre robots.
- **Trabajo cooperativo y competencias de comunicación:** en casi todos los proyectos, los equipos deben de trabajar en conjunto con un objetivo común, ya que la resolución del problema requiere de la discusión en grupo de las mejores estrategias. Y su éxito depende de reunir las diferentes ideas, aceptar las sugerencias de los demás y analizar nuevas propuestas entre todos. Todo lo anterior significa que se deben dividir tareas y tener un trabajo en colaboración, en el cual es necesario desarrollar niveles de seguridad y confianza en el trabajo del compañero.
- **Imaginación y creatividad:** Esta herramienta educativa permite el desarrollo de la creatividad en los estudiantes desde la creación de

prototipos hasta ver la manera en que el robot que se diseña, cumpla con las funciones para las cuales fue creado. En el proceso de construcción y programación de robots se debe tener creatividad e invitar al alumno a la innovación en la resolución de problemas.

- **Razonamiento lógico y pensamiento abstracto:** la robótica educativa desarrolla la capacidad de abstracción en la planeación del diseño, construcción y programación del robot. El procedimiento de programación se lleva a cabo con base en un lenguaje visual y simbólico donde el estudiante debe ser capaz de asignar un comportamiento físico al robot y predecir el movimiento a partir de los símbolos incluidos en la programación.
- **Autonomía en el aprendizaje:** cuando el estudiante se está preparando para el desarrollo de un proyecto robótico, el cual ha sido concebido y estructurados por él mismo, procura resolver los problemas que se ha encontrado de manera autónoma, recurriendo a los conocimientos ya adquiridos.

En este caso, el profesor tiene la tarea de proporcionar ambientes de aprendizaje donde el alumno se sienta seguro en la elaboración de sus ideas creativas y en la búsqueda del conocimiento.

### **2.5.2. Robots educativos**

En cuanto a las herramientas educativas utilizadas para la enseñanza de robótica, se encuentran en el mercado diversas soluciones.

- Fischertechnik<sup>4</sup>

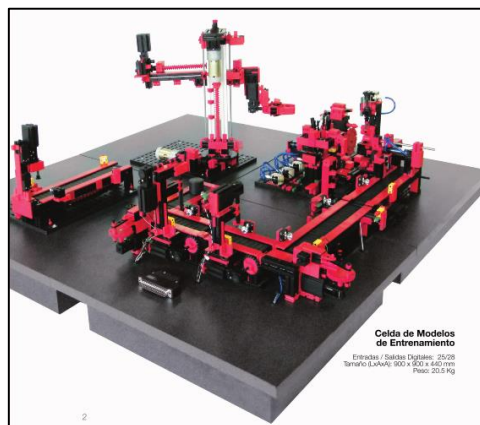


Fuente: <http://www.fischertechnik.com.mx/>

Figura 2. Logotipo de Fischertechnik

Es un sistema de construcción modular creado en Alemania en 1965. Forma parte del grupo industrial Fischer Werke. Actualmente es fabricado en Salzstetten, en la Selva Negra al sur de Alemania.

Cuenta con una línea de robots educativos para edades desde los 8 años en adelante. Además existe una línea industrial diseñada para adolescentes y adultos universitarios. Uno de sus productos más avanzados es el simulador de celdas de manufactura (véase Figura 3).



Fuente: <http://www.fischertechnik.com.mx/>

Figura 3. Celda de entrenamiento Fischertechnik

---

<sup>4</sup>Sitio web: <http://fischertechnik.com.mx/>

Cuenta con distribuidores en más de 30 países a nivel mundial; los más cercanos a Costa Rica son México, Colombia y USA.

- Creative Systems Colombia<sup>5</sup>

Creative Systems Colombia es el resultado de la unión del talento de varios estudiantes de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia, que viendo la escasa oferta en su país de componentes electrónicos para proyectos estudiantiles de colegio y universidad, a un precio módico, se dedicaron a producir y distribuir equipos y soluciones tecnológicas de alta calidad en el campo educativo, a precios competitivos.

Entre los productos que ofrece se encuentra el set de piezas para armar robot educativo que funciona con energía solar. Este set consta de todas las piezas y componentes electrónicos necesarios para construir un robot tipo "Transformer" (humanoide, escorpión o tanque) (véase Figura 5) que funciona con energía solar. El set incluye las piezas, un panel solar, un micromotor, piñones y ejes (véase Figura 4).



Fuente: <http://creativesystemscolumbia.blogspot.com/>.

Figura 4. Set de piezas para construir el robot.

---

<sup>5</sup>Sitio web: <http://creativesystemscolumbia.blogspot.com/>



Fuente: <http://creativesystemscolombia.blogspot.com/>.

Figura 5. Robot tipo "Transformer" (humanoide, escorpión o tanque).

- Meccano<sup>6</sup>

Es una industria que inicia en 1901; cuenta con mercados en Europa, América del Norte, Oceanía, África, Oriente Medio, Cercano Oriente y Asia. Posee una amplia gama de productos para armar y es apto para niños de 2, 5, 7 y 8 años en adelante.

Una de las opciones (para niños de 2 años), es el tren caja de herramientas (véase Figura 6), el cual se transforma en un carro y viene con tornillos grandes flexibles, lo cual permite una rápida construcción.

---

<sup>6</sup>Sitio web: <http://www.meccano.com/>



Fuente: <http://www.meccano.com/>

Figura 6. Tren caja de herramientas

En cuanto a modelos de construcción más elaborados se cuenta el set de construcción multimodelos, con el cual se pueden armar hasta 50 modelos motorizados (véase Figura 7).



Fuente: <http://www.meccano.com/>

Figura 7. Multimodelos

Por último, Meccano cuenta en el área de robótica con dos modelos: el Skykee minirobots y con Skykee, los cuales tienen control remoto por infrarrojos, WiFi, Bluetooth o por reconocimiento de voz (véase Figura 8).



Fuente: <http://www.meccano.com/>

Figura 8. Skykee

- Lego Mindstorms Education<sup>7</sup>

Disponible desde 1998, Lego Mindstorms Education (véase Figura 9) es uno de los productos de mayor venta a nivel mundial. Lo fabrica LEGO desde sus plantas en México, USA, Alemania, y Dinamarca entre otras. Actualmente se comercializa la versión 2.1 NXT, la cual permite tanto la construcción de modelos como su programación, mediante sensores de tacto, ultrasónicos y colores. Además cuenta con tres servomotores y un bloque de control.

Tiene conectividad USB y “bluetooth”; además, su lenguaje de programación está basado en LABVIEW, una solución comercial de amplio uso en la ingeniería de control. Por último, cuenta con una amplia presencia en el mercado de los juguetes y es compatible con todos los demás sets de construcción de la marca LEGO.

---

<sup>7</sup>Los sets utilizados son “LEGO MINDSTORMS Education Resource Set” #ref 9695, y el “LEGO MINDSTORMS Education NXT Base Set” #ref 9797. Sitio web:

[http://www.legoeducation.us/eng/product/lego\\_mindstorms\\_education\\_nxt\\_software\\_2\\_1/2240](http://www.legoeducation.us/eng/product/lego_mindstorms_education_nxt_software_2_1/2240)



Fuente: [Lego.com](http://Lego.com)

Figura 9. Lego Mindstorms Education NXT.

Por otra parte, dentro de las ventajas de utilizar este tipo de herramientas se pueden citar,

- Una amplia presencia en el mercado internacional.
- Soluciones diseñadas tomando en cuenta criterios técnicos y pedagógicos.
- Son capaces de atraer personas de todas las edades por su apariencia llamativa, diversidad de posibilidades de construcción y ponen a la mano elementos de alta complejidad técnica, que de otra forma, no son posibles de obtener de manera fácil.

Sin embargo, Jiménez Builes, Ramírez Patiño, & González España (2011) aclaran que estas herramientas son desventajosas para países en desarrollo pues, “son más preocupantes aún los limitados recursos económicos de estas regiones, lo cual les impide dotar a los centros educativos de los kits que ofrecen las multinacionales desarrolladoras de estos, debido a sus altos costos...”.

Para solucionarlo proponen que “se deben ajustar a la capacidad económica de estas naciones, y citan el ejemplo de soluciones parciales en este sentido, en países como Qatar, Ghana, Costa Rica, entre otros. El caso específico de Costa Rica se concentró en una Investigación del Media Lab del MIT (Massachusetts Institute of Technology) en la escuela El Rodeo en San Marcos de Tarrazú.

Otras desventajas citadas por los autores citados son:

- Los módulos deben ser importados, lo que encarece el costo.
- Los kits vienen con un número de piezas definido, lo que limita la creatividad y los resultados obtenidos por el alumno.
- La incapacidad para el usuario de modificar las “ecuaciones estáticas asociadas a cada bloque”, limitando el uso que se les puede dar.

## **2.6. Experiencias de la implementación de la robótica en la educación**

### **2.6.1. Investigaciones y proyectos realizados a nivel internacional**

Existen, actualmente, en varios países, diversas iniciativas orientadas al desarrollo de robótica en todos los niveles educativos. A nivel europeo, esto ocurre en España y Portugal; por otra parte, en Latinoamérica es posible encontrarlas en Costa Rica, Colombia y Venezuela.

A continuación se resumen algunas de las experiencias más relevantes, junto con una explicación de sus objetivos, alcances, limitaciones y otros detalles relevantes.

- Experiencias constructoras con robótica educativa: Centro Internacional de Tecnologías Avanzadas y Universidad de Salamanca, España<sup>8</sup>.

En este estudio se presenta la metodología de los *talleres NXT*, impartidos como actividades extraescolares en el Centro Internacional de Tecnologías Avanzadas (CITA), cuyo objetivo es acercar la tecnología digital, específicamente, la robótica al público.

Los talleres NXT son “micromundos” que incorporan la tecnología LEGO Mindstorms NXT como “objeto para pensar” permitiendo a los participantes la construcción de robots utilizados en una competición o exhibición final ante sus familiares y amigos (véase Figura 10).



Fuente: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/2010/201014897013.pdf>

Figura 10. Actividad de cierre de los talleres.

El siguiente cuadro, recoge los talleres NXT ofrecidos del 2006 al 2009 y datos relevantes de estas actividades.

---

<sup>8</sup> Tomado de: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/2010/201014897013.pdf>

Cuadro 8. Lista de talleres ofrecidos entre 2006 y 2009, impartido por el CITA

Año	Título	Objetivo	Nivel
2006	Introducción a la robótica	Diseñar, programar, testear y competir con robots realizados por ti mismo.	Iniciación
2007	Construye tu robot	Construir su propio robot y programar determinadas acciones previamente establecidas.	Iniciación
2007	El poder de la robótica en tus manos	Diseñar, programar y montar un robot propio de una forma autosuficiente y entretenida.	Iniciación
2007	BASKETBOT	Construir un robot NXT que sea capaz de seguir una línea negra, situarse delante de una canasta y realizar un tiro a esta.	Media
2008	PAINTBOT	Diseñar un robot con la habilidad de pintar líneas y diferentes figuras geométricas sobre un lienzo con la ayuda de un pincel.	Iniciación
2008	SUMOBOT	Diseñar y construir un robot SUMO, programando una serie de estrategias de ataque y defensa.	Avanzado
2008	ZOO NXT	Construir animales (elefante, caimán, serpiente, dinosaurio, etc.) y programarlos, imitando sus comportamientos más habituales.	Iniciación
2009	Fórmula 1 NXT	Construir y programar su propio vehículo NXT®.	Iniciación
2009	First Lego League	Participar en la competición "Smart Move" en Madrid.	Media
<b>Material necesario:</b> <b>8527 Mindstorms® NXT® Kit</b> <b>9797 Mindstorms® NXT® Kit</b> <b>Piezas extras</b>			

Fuente: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/2010/201014897013.pdf>

Resultados obtenidos:

Aunque no se puede generalizar sobre las competencias conseguidas por cada participante, es posible indicar lo siguiente:

- Creatividad: Los participantes liberaron su capacidad creativa al ofrecerles espacios en los que realizaron sus propias construcciones.
  - Autoestima: la timidez inicial de algunos participantes fue disminuyendo a medida que transcurrían las sesiones. Algunos pasaron de exhibir timidez a liderar las actividades.
  - Concentración y disciplina: los participantes aprendieron a perseverar en la adversidad y solucionar sus problemas.
  - Trabajo en equipo: Los participantes se agruparon según sus preferencias y en cada sesión.
- 
- Robótica en la resolución de problemas aritméticos, Universidad de Minho, Portugal<sup>9</sup>.

El trabajo presentado en este documento plantea una solución a la falta de materiales didácticos basado en robótica educativa para su uso en el aula. Proporciona un conjunto de sesiones previstas para uso por maestros en sus aulas, implementadas en el kits Lego Mindstorms NXT.

Estas sesiones están dirigidas para la educación básica (4to año) y para la adquisición de habilidades en la solución de los problemas que involucren las operaciones aritméticas de multiplicación y división. Podrán ser implementadas de una manera sencilla por el profesor en el salón de clases, ya que el trabajo cuenta con material suficiente para formarse en el tema antes de que inicien los estudiantes.

---

<sup>9</sup> Tomado de: [http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/12920/1/Celia\\_Ribeiro.pdf](http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/12920/1/Celia_Ribeiro.pdf)

El material elaborado se enfocó en el bloque de “Números y operaciones (resolver problemas relacionados con multiplicación y división)”. Los principales objetivos pedagógicos de estas sesiones fueron:

- Comprender el significado de operaciones de multiplicación y división así como su relación entre sí.
- Calcular con fluidez y hacer estimaciones razonables de multiplicaciones y divisiones.
- Descubrir, a través de experimento con robots, relaciones de proporcionalidad entre varias medidas: distancia recorrida, número de rotaciones de la rueda / ángulo, tiempo.
- Definir un procedimiento para convertir entre las diversas medidas, efectuando cálculos y usando las operaciones de multiplicación y división.
- Predecir el comportamiento de los robots por interpolación y extrapolación, usando los procedimientos anteriores.
- Probar las hipótesis a partir de experimentos la construcción y programación del robot.

El conjunto de recursos elaborados pretendió:

- Promover la aplicación de la robótica educativa como una herramienta pedagógica de elección para un aprendizaje de conceptos matemáticos en la enseñanza básica.
- Contribuir al desarrollo de materiales pedagógicos en el área emergente de la robótica educativa, promoviendo su utilización por los profesores en el aula.

- Ofrecer alternativas a técnicas tradicionales en la enseñanza de la matemática en educación básica, en el área donde los niveles de fracaso permanecen elevados.
  
- Kit TEAC2 H-RI, Universidad Nacional de Colombia, Colombia<sup>10</sup>.

La principal preocupación detrás del estudio fue desarrollar un kit robótico que fuera flexible con las necesidades del usuario, es decir con software y hardware configurable según se necesite. El rango de edad de los estudiantes fue seleccionado entre los 14 y 17 años, pues son edades en las que el individuo “descubre sus intereses y se crea sus modelos de aprendizaje” (González & Jiménez B., 2009).

El Kit TEAC<sup>2</sup> H-RI está compuesto por cuatro robots, tres hijos y una madre. Existe la posibilidad de que interactúen entre ellos o sean guiados por el robot madre. Se utilizó el lenguaje de programación CodeWarrior basado en C; sin embargo, existían planes para el desarrollo de un algoritmo de uso más sencillo, al momento de la publicación.

Algunos de los objetivos planteados para el estudio son,

- Fortalecer el cooperativismo mediante la incorporación de varios robots.
- Experimentación y modificación de los sensores y sus algoritmos.
- Favorecer mediante el diseño la comprensión de importantes conceptos fisicomatemáticos.
- Enseñanza y validación de algoritmos.

---

<sup>10</sup> Tomado de: <http://161.67.140.29/iecom/index.php/IECom/article/view/177/165>

Los resultados obtenidos muestran el interés de los estudiantes por el tema estudiado, comprensión de los temas evaluados, incluidos físicos y matemáticos, además de poner a prueba la manipulación de herramientas y asociación de algunas características del robot con términos de sus áreas del conocimiento.

De igual forma, el profesor asistente concluyó que el aprendizaje mediante esta actividad fue más relajante para los estudiantes. Por último, el costo de producción de cada robot fue de aproximadamente \$65, lo cual es relativamente bajo, comparado con otras opciones presentes en el mercado. Por tanto se, adaptan mejor a las necesidades de la región (González & Jiménez B., 2009), pero deben ser desarrollados en conjunto por el Gobierno, la Universidad y la empresa privada para obtener resultados significativos.

- La robótica va a la escuela, Universidad Católica Andrés Bello, Venezuela<sup>11</sup>.

En este caso, no se intentó alfabetizar a los estudiantes en la disciplina de la robótica, sino aprovechar las múltiples disciplinas que la compone como ciencia, para activar procesos cognitivos y sociales que propicien un aprendizaje significativo y fomenten el desarrollo del pensamiento.

Es un proyecto de intervención didáctica en el aula que buscó promover en los estudiantes:

- La construcción de nuevos conocimientos, partiendo de lo concreto a lo abstracto.
- El desarrollo de competencias comunicacionales y hábitos de organización.
- La formulación de procesos de análisis y síntesis, comprendiendo las relaciones causa efecto.

---

<sup>11</sup> Tomado de:

[http://www.ucab.edu.ve/tl\\_files/escueladeeducacion/roboticaeducativa/triptico\\_1\\_PRE.pdf](http://www.ucab.edu.ve/tl_files/escueladeeducacion/roboticaeducativa/triptico_1_PRE.pdf)

- El fomento de su creatividad y el despertar de intereses vinculados al área de científico tecnológica.
- La aplicación sencilla y sistemática de los principios tecnológicos para la resolución de problemas.
- El desarrollo de su propio pensamiento a través de la reconstrucción de esquemas personales y la comunicación e intercambio de sus ideas: “Aprender a aprender”.

Actividades realizadas:

- Educación preescolar, tema: *Robots en carnaval*. Participaron 40 niños entre 4 y 6 años en una jornada de 6 horas. Febrero 2003.
- Educación básica 1ra etapa, tema: *El mundo de la robótica*. Participaron 39 niños entre 12 y 14 años en jornadas semanales de 6 horas durante 9 semanas. Abril – junio 2004.
- Educación básica 2da etapa, tema: *Retos de vehículos*. Participaron 77 niños entre 9 y 12 años y dos docentes de aula, en dos jornadas semanales de 3 horas cada sección durante 8 semanas. Junio-julio 2005.
- Educación básica 3ra etapa, tema: *Aportes de la robótica*. Participaron activamente los 4 estudiantes y se beneficiaron indirectamente 39 estudiantes entre 14 y 16 años. Se trabajó en dos jornadas semanales de 2 horas durante 4 semanas. Mayo-junio 2006.
- Educación media diversificada, tema: El castillo del sabor. Participaron 37 estudiantes del primer año de diversificado, en una jornada semanal de tres horas durante 12 semanas. Febrero-abril 2006.
- La iniciativa se continúa del 2008 al 2012 mediante la realización de concursos; a la fecha llevan 4. Se realiza en 3 niveles: inicial, intermedia y avanzado.

En la Figura 11 se observan niños durante las actividades realizadas y en la Figura 12, el vehículo utilizado por el proyecto.



Fuente: [http://www.ucab.edu.ve/tl\\_files/escueladeeducacion/roboticaeducativa/triptico\\_1\\_PRE.pdf](http://www.ucab.edu.ve/tl_files/escueladeeducacion/roboticaeducativa/triptico_1_PRE.pdf)

Figura 11. Diferentes etapas del proyecto. De izquierda a derecha, Educación Pre-escolar, Educación Básica, Educación Media, diversificada.



Fuente: [http://www.ucab.edu.ve/tl\\_files/escueladeeducacion/roboticaeducativa/triptico\\_1\\_PRE.pdf](http://www.ucab.edu.ve/tl_files/escueladeeducacion/roboticaeducativa/triptico_1_PRE.pdf)

Figura 12. Transporte del proyecto Robótica Educativa.

- Talleres de robótica LEGO, Bogatell-Icària, Barcelona<sup>12</sup>

La Escuela Bogatell, el Instituto Icària y la Asociación de Madres y Padres de los Alumnos (AMPA) de ambos centros iniciaron en 2011 el proyecto de los Talleres de robótica LEGO orientados a los alumnos de ciclo superior de primaria y de educación secundaria obligatoria. Culminan los talleres con la participación en competiciones internacionales como la FIRST LEGO League (FLL), organizada anualmente por el fabricante de juguetes LEGO o la RoboCup Junior con el equipo BOGATECH.

En ellos, se presentó la tecnología a los niños y niñas de una forma lúdica, pues el aprendizaje se realizó a través del juego, pero de forma dirigida. Este hecho aprovecha la motivación personal para llevar a cabo un aprendizaje mucho más eficaz y de alto nivel (véase Figura 13).

Además, la temática de las competencias, como el "movimiento inteligente", el "cambio climático", las "energías alternativas", las pruebas de rescate, de futbol o de danza, sirvieron como oportunidad para realizar un proyecto científico que involucró a más asignaturas curriculares.



Fuente: <http://www.bogatech.org/>

Figura 13. RoboCup 2011, Barcelona.

---

<sup>12</sup> Tomado de <http://www.bogatech.org/>

## **2.6.2. Investigaciones y proyectos realizados a nivel nacional**

En Costa Rica, una de las instituciones más prestigiosas en el estudio e implementación de robótica educativa es la Fundación Omar Dengo (FOD). Esta institución lleva cerca de 25 años ejecutando proyectos en el campo del desarrollo humano, la innovación educativa y las nuevas tecnologías.

A continuación se resumen algunas de las experiencias más relevantes, junto con una explicación de sus objetivos, alcances y limitaciones u otros detalles relevantes.

- Robótica: Espacios creativos para el desarrollo de habilidades en niños, niñas y jóvenes de América Latina. Fundación Omar Dengo, Costa Rica<sup>13</sup>.

El objetivo principal de este proyecto, fue desarrollar una metodología para implementar robótica educativa a bajo costo, la cual fuera capaz de estimular el desarrollo de capacidades creativas, y trabajo en equipo, entre otras virtudes, a niños, niñas y jóvenes en América Latina.

La metodología empleada se estructuró de manera que se consideraron tres etapas ejecutadas a lo largo de dos años; el diseño y ajuste de las producciones tuvieron una duración de seis meses cada una y la implementación se ejecutó en el tiempo intermedio, aproximadamente un año. La propuesta metodológica tuvo como base el enfoque de aprendizaje basado en proyectos.

Uno de los proyectos diseñados por los estudiantes fue el rediseño de un puente que esté en mal estado o el diseño de uno que requiera construirse. Para esto, los niños midieron, hicieron croquis, construyeron maquetas a escala para valorar la propuesta. También se involucraron en la construcción de una ciclo vía a escala, en donde debían automatizar el funcionamiento de los semáforos; al igual

---

<sup>13</sup> Tomado de : <http://programafrida.net/theme/default/files/9.0.pdf>

que en el anterior proyecto, utilizaron materiales reciclados. Finalmente compartieron sus creaciones y experiencias con la comunidad.

Los resultados obtenidos muestran como los estudiantes dominaron los temas mostrados de manera satisfactoria, además de que se logró superar la inseguridad y tensión iniciales mostradas por los educadores con respecto al contenido y metodología de la propuesta.

Los estudiantes se mostraron, en general, altamente satisfechos con el nivel de exigencia de las actividades ejecutadas; la principal razón fue la posibilidad de practicar lo aprendido en una aplicación real y propia. Los educadores mostraron dificultades para abandonar la pizarra y enseñar conceptos teóricos en la práctica.

Dentro de las sugerencias que plantearon los educadores para mejorar la experiencia se mencionan: una mejor preparación para manejar grupos que buscan consignas diferentes; conocer la propuesta metodológica; recibir formación académica que les prepare para el cálculo, lógica, secuencia y algunas aplicaciones tecnológicas, entre otras.

Además de los resultados técnicos, hubo una influencia directa sobre las áreas sociales y educativas tanto en los alumnos como en los profesores. Los participantes destacaron mejoras en la autoestima, responsabilidad, perseverancia, y compromiso. Los educadores notaron mejoras en su forma de orientar al grupo, mejora en sus metodologías, una valoración más positiva de los ambientes de trabajo caracterizados por la resolución de problemas.

- Salas de exploración de robótica de la FOD, Costa Rica<sup>14</sup>

El proyecto “Salas de exploración de robótica”<sup>15</sup> (véase Figura 14) se ejecuta como parte del Programa Nacional de Informática Educativa (PRONIE preescolar,

---

<sup>14</sup> Tomado de <http://www.fod.ac.cr/robotica/index.php/proyectos>

<sup>15</sup> Inicialmente estas salas de exploración se trabajaron con el set de construcción Lego MindstormsforSchools el cual utilizaba un cerebro RCX que se programaba con ROBOLAB

I, II y III ciclo) que coordina la FOD en conjunto con el MEP de Costa Rica. En él los estudiantes de I y II ciclo se involucran activamente en el desarrollo de proyectos que simulan eventos, procesos o sitios, con la finalidad de indagar los desarrollos o implementaciones tecnológicas instaladas en su comunidad o entorno cercano. Al mismo tiempo investigan y estudian los conceptos y principios básicos de la robótica que les permite crear y poner a funcionar las simulaciones.



Fuente: <http://www.fod.ac.cr/robotica/index.php/proyectos>

Figura 14. Salas de exploración de robótica.

En esta experiencia, los estudiantes reconocen los recursos de construcción y programación más adecuados que les permitan concretar productos robotizados. Se involucran en procesos de diseño, restructuración, ensamblaje y control de mecanismos. Negocian ideas y criterios respecto a los productos que desean concretar. Crean proyectos grupales que responden a los procesos de investigación y estudio que han realizado durante el club de robótica. Construyen, programan y valoran los proyectos de robótica que recrean en sitios, eventos o procesos que han estudiado, comparten su proceso de aprendizaje y las producciones con la comunidad escolar en forma presencial y virtual.

---

(entorno de programación gráfico). Sin embargo poco a poco los centros educativos hay ido emigrando al set de construcción Lego Mindstorms Education que utiliza un cerebro NXT.

Actualmente se cuenta con 24 salas de exploración en escuelas públicas costarricenses ubicadas en las diferentes provincias. Cada sala atiende grupos de 20 estudiantes, cuya edad oscila entre los 6 y 12 años, en horario contrario a su jornada escolar. En ella trabaja un tutor nombrado por el Ministerio de Educación, quien recibe capacitación asesoría y seguimiento permanente de la Unidad de Aprendizaje Lógico, Científico y Robótico de la Fundación Omar Dengo y el equipo de asesores del Programa Nacional de Informática Educativa.

A continuación se muestra la lista de estas escuelas y colegios públicos:

Cuadro 9. Salas de exploración existentes

<b>Nombre de la Institución</b>	
Escuelas	Colegios
Cacique de Nicoya	CTP San Isidro
Carolina Dent	Liceo de Ciudad Colón
Ermida Blanco Gonzalez	Liceo de Liverpool
Fidel Chaves	Liceo de Nicoya
Jesus Jiménez	Liceo El Roble
José Cubero	Liceo Potrero Grande
Manuel del Pilar Zumbado	
Pedro Aguirre	
Pedro Murillo Pérez	
Porfirio Brenes	
República de Colombia	
República de Paraguay	
Ricardo Jiménez	
Rincón Grande de Pavas	
Sagrada Familia	
San Rafael de Guápiles	
Santa Cruz (Buenos Aires)	
Sotero González	
Winston Churchill Spencer	

Fuente: <http://www.fod.ac.cr/robotblogs/intituciones.htm>

En Cartago se encuentran tres de las escuelas públicas que participan en el proyecto; a continuación se mencionarán algunas de las experiencias que han tenido estas instituciones:

- Escuela Winston Churchill Spencer<sup>16</sup>

La Escuela Winston Churchill Spencer está ubicada en la provincia de Cartago, 100 metros al Sur de la Basílica de Nuestra Señora de los Ángeles. En el año 1990 se inauguró el laboratorio de Informática Educativa y en el año 2000 se inicia con el proyecto de Robótica Educativa: es esta escuela una de las primeras (junto con la Ricardo Jiménez Oreamuno) en unirse al proyecto con la FOD.

Los docentes consideran que la robótica es un medio de aprendizaje, en el cual participan los niños que tiene motivación por el diseño y construcción de creaciones propias (lo más parecido a la realidad). Estas creaciones se dan en primera instancia de forma mental y posteriormente, en forma física; son construidas con diferentes actuadores, sensores, piezas de lego y controladas por un sistema computacional (Robolab-RCX).

A continuación se mencionan algunos de los proyectos que se han realizado:

- ✓ I Taller de robótica 2010 en el que, tanto el primer ciclo como el segundo, trabajaron con el tema “Cartago en 2026”.
- ✓ II Taller de robótica 2010 en el que el primer ciclo trabajó con el tema “Los animales”; construyeron una serpiente, una pantera, un cocodrilo y una tortuga.
- ✓ I Taller de robótica 2011: consiste en representar un sitio "Parque de diversiones", en el cual los niños representan los siguientes atracciones: el tren, las conchas locas y los caballitos.

---

<sup>16</sup> Tomado de <http://www.nacion.com/viva/1999/mayo/20/var1.html>

- Escuela Ricardo Jiménez Oreamuno.

La Escuela Ricardo Jiménez Oreamuno está ubicada en la provincia de Cartago, en El Tejar de El Guarco. Desde el año 1998 se imparten talleres de Robótica Pedagógica, un espacio donde los niños(as) tienen la oportunidad de trabajar con conceptos muy variados de matemática, mecánica y construcción, a través del diseño y la programación, de estructuras elaboradas con equipo lego y material complementario.

Dentro del taller se desarrollan distintas habilidades a través de la construcción de mecanismos que simulan elementos que se utilizan en la vida real.

En la Sala de Robótica se imparten dos talleres, actualmente atendidos por dos tutoras, quienes median el aprendizaje de los niños y niñas: un taller para niños(as) de primer ciclo, con edades entre 7, 8 y 9 años, así como otro taller para niños(as) de segundo ciclo, con edades entre 10, 11 y 12 años. Uno de los proyectos realizados fue un taller en el 2009 cuya temática se basó en los “Animales del Zoológico Simón Bolívar”; en esta oportunidad se organizó una visita al Zoológico, donde los estudiantes tuvieron la oportunidad de conocer un poco más sobre las especies que ahí se albergan, características, hábitat, cuidados, entre otras, para así elaborar su proyecto.

- Escuela Jesús Jiménez Zamora

La Escuela Jesús Jiménez Zamora fue fundada en 1900, en la administración de don Rafael Iglesias Castro. Lleva dicho nombre en homenaje al expresidente don Jesús Jiménez, quien decretó “la enseñanza gratuita, obligatoria y costada por el Estado”. Funcionó primeramente en la casa esquinera de la avenida 1 calle 1, donde nació el expresidente Jiménez.

En 1914, se construyó la primera etapa del edificio actual ubicado diagonal a la esquina suroeste de la Plaza Mayor en Cartago (Parque Central) y en 1936 se construyó la segunda etapa del edificio.

Esta institución imparte robótica educativa en forma de talleres y fuera del horario lectivo a los alumnos de I Ciclo. Los talleres están divididos en dos niveles: el primero es de principios básicos de construcción y programación y el segundo, de interacciones, hábitat y líneas de procesamiento.

Algunos de los proyectos que se han realizado son:

- ✓ Taller de robótica 2009: el tema que se trabajó fue: “La magia de la navidad”.
  - ✓ Taller de robótica 2010: el proyecto representa el hábitat extremo del *Desmodus rotundus* (murciélago vampiro), el cual es una cueva; además, otro tipo de hábitat como las granjas donde se dan interacciones con otros seres vivos.
  - ✓ Taller de robótica 2011: el proyecto representa las relaciones interespecíficas e intraespecíficas del lemmings, animal que pertenece a la familia de los roedores y su hábitat es la tundra.
- III Olimpiada Nacional de Robótica, Costa Rica<sup>17</sup>

Los organizadores de esta Olimpiada, son el Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), la Universidad de Costa Rica (UCR), el Ministerio de Ciencia y Tecnología (MICIT) y LEGO Education Costa Rica.

Alejandra Sánchez Calvo, Coordinadora de la Olimpiada y profesora de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la UCR explica que se trata de una propuesta que busca fomentar la ingeniería en la juventud. Además, define el objetivo primordial de la actividad como “promover la robótica como una herramienta de los jóvenes en su diario vivir”.

Durante el año 2012 se realizó el evento por tercera vez. La actividad consistió en una competencia para jóvenes de primaria, secundaria y universidad, quienes

---

<sup>17</sup> Tomado de <http://www.wrocostarica.org/http://www.ucr.ac.cr/noticias/2012/08/16/despliegan-inventiva-en-olimpiada-de-robotica.html>

presentaron robots que competieron entre sí en pruebas en para demostrar sus habilidades.

Los participantes conformaron 60 equipos divididos en tres categorías: A (compuesto por menores de 12 años); B (comprende edades entre los 13 y 15 años) y C (con edades entre 16 y 19 años).

Algunas de las actividades desarrolladas incluían: seguir un trazado específico con obstáculos, reconocer cubos de diferentes colores y transportarlos a las áreas respectivas, entre otras.

Los ganadores en la categoría A fueron:

Cuadro 10. Ganadores de la categoría A<sup>18</sup>.

Categoría A	Nombre del Equipo	Institución a la que representa	Nombre Entrenador	Participantes
<b>Primer Lugar</b>	Androids JDM	Escuela Jesús Jiménez	Daniela Pineda Ávila	Mariana Murillo Baltodano
				Diana de los Ángeles Caderón
				Juan Carlos Brenes Carillo
<b>Segundo Lugar</b>	FIREWARS3	Escuela Ricardo Jiménez	Eugenia Brenes González	Marianela Pereira Castillo
				Mario Alejandro Araya Fuentes
				David Vásquez Navarro
<b>Tercer Lugar</b>	ROBI	Escuela Ricardo Jiménez	Eugenia Brenes González	Ana Luisa Navarro
				Ana Julia Navarro
				Oswaldo José Solís

Fuente: <http://www.micit.go.cr/index.php/comunicados-de-prensa/1209-iocho-jovenes-representaran-al-pais-en-el-mundial-de-robotica.html>

Los tres niños del primer lugar en la categoría A, junto con tres más del primer lugar de la categoría B procedentes del Saint Francis College, y dos del primer lugar en la categoría C del Instituto Nacional de Aprendizaje (INA), representaron

<sup>18</sup> Tomado de <http://www.wrocostarica.org/ganadores>

al país en la Olimpiada Mundial de Robótica (WRO<sup>19</sup>) que se realizó en Kuala Lumpur, Malasia del 9 al 11 de noviembre del 2012<sup>20</sup>. Entre los ganadores están Malasia, Japón, Filipinas, Rusia, Tailandia, Corea del Sur, y China<sup>21</sup>.

Trayectoria del concurso de robótica:

- 2009: El Sistema Nacional de Colegios Científicos Costarricenses (SNCCC) organizó una “Feria de Robótica” en la cual solo participaron esos colegios de esa categoría.
- 2011: La Escuela de Mecatrónica del TEC organizó la semana de la mecatrónica y se realizó la competencia nacional para seleccionar al equipo que representaría a Costa Rica en las Olimpiadas Mundiales de Robótica en Abu Dhabi. En esta oportunidad se contó con la participación de equipos de la UCR, el TEC y los Colegios Científicos.
- 2012: Por primera vez, el evento se organizó formalmente con el nombre de III Olimpiada Nacional de Robótica, debido a la gran importancia de los eventos anteriores y en reconocimiento al gran esfuerzo que se ha puesto por parte de las instituciones organizadoras para llegar hasta el día de hoy.

## **2.7. Robótica educativa y matemática**

Algunos investigadores, nacionales e internacionales, se han dado la tarea de investigar el uso de la robótica como una herramienta en la enseñanza de la matemática. A continuación se mencionan algunos casos.

---

<sup>19</sup> Por sus siglas en inglés: World Robot Olympiad.

<sup>20</sup> Tomado de <http://www.micit.go.cr/index.php/comunicados-de-prensa/1209-iocho-jovenes-representaran-al-pais-en-el-mundial-de-robotica.html>

<sup>21</sup> Tomado de <http://www.wro2012.org/v/result>

- La robótica educativa como herramienta pedagógica en la resolución de problemas de matemática en la enseñanza básica, Portugal.

La investigadora Celia Ribeiro (2011) es una referente del campo de la robótica educativa. Ha publicado junto con Clara Coutinho y Manuel Costa (2011), un artículo que trata el tema de la robótica educativa como herramienta pedagógica, en la resolución de problemas matemáticos en primaria.

En sus investigaciones, exaltan la labor de la robótica educativa como facilitador en la resolución de problemas al impulsar el pensamiento crítico y permitir la incorporación de diversas disciplinas tales como la matemática, física, ingenierías entre otras.

Además, varias de las ventajas puntuales que mencionan son:

- Motivación de los alumnos
- Aprendizaje basado en proyectos.
- Trabajo cooperativo y competencias de comunicación.
- Imaginación y creatividad.
- Razonamiento lógico y pensamiento abstracto.
- Autonomía en el aprendizaje.

Por otra parte, señalan varios aspectos del contexto de la educación general básica en matemática en los que es aplicable la robótica educativa; por ejemplo, números y cálculos, álgebra y geometría.

Sin embargo, mencionan que la robótica educativa no está completamente integrada a los planes de estudio debido a varios factores:

- Tiempo de implementación elevado.

- El carácter técnico de la materia produce temor entre los profesores.
- La falta de material (manuales y tutorías) sobre robótica educativa en las diversas áreas curriculares.
- Falta de oportunidades de formación de profesores en el área.
- Falta de estudios cuantitativos que muestren las cualidades pedagógicas de la herramienta.

El objetivo del trabajo que presentan es atacar a uno de estos problemas, mediante el aporte de materiales didácticos de robótica educativa para su uso en el aula. Lo anterior se realizó mediante sesiones dirigidas a estudiantes de 4to año en Portugal, orientadas a la resolución de problemas aritméticos de multiplicación y división.

- La robótica en la educación matemática<sup>22</sup> , Colombia

Los investigadores Fabián Posada y Jhon Sepúlveda (2004), realizaron un trabajo donde presentan una propuesta del uso de la robótica educativa en la enseñanza de la función lineal, a partir de magnitudes relacionadas bajo proporcionalidad directa.

Indican los autores que se trata de aprender disfrutando, de descubrir explorando y de construir referentes fundamentales de ubicación, orientación, relación de principios, hechos y conceptos en la descripción del mundo circundante a través de proyectos acordes con los intereses de los participantes.

Para aplicar la robótica en la educación matemática, se introduce en el aula una “situación problema”, y se busca que los estudiantes la resuelvan aplicando los conocimientos adquiridos en esta área. Así la robótica se convierte en un

---

<sup>22</sup> Tomado de <http://ribiecol.org/embebidas/congreso/2004/ini/ini/nac/p037.pdf>

mediador en el aprendizaje y los estudiantes se aproximan al concepto teórico planteado en la actividad.

El trabajo estuvo orientado en la comprensión conceptual y su aplicación en la construcción de modelos a escala de vehículos móviles con mecanismos diferentes, desde el contexto de la educación matemática.

La situación problema que Posada y Sepúlveda (s.f.) presentan se describe a continuación.

#### Actividad 1: Construir el carro.

Los estudiantes deben de construir el carro con el que van a trabajar; para esto siguen una guía de trabajo que se les facilita. Esta tiene como finalidad permitir a los estudiantes el registro del proceso de materialización de las ideas a través del diseño y la construcción.

Objetivo: Diseñar y construir un artefacto robótico de manera colaborativa.

Para cumplir con el objetivo, se siguen los siguientes pasos:

- Distribución de equipos colaborativos y lluvia de ideas
- Materialización de una idea en papel.
- Diseño y planeación.
- Planeación del programa.
  - ✓ Seudocódigo.
  - ✓ Programa en papel.
  - ✓ Programa en PC.
- Integración de la construcción y la programación.
- Retroalimentación.

Luego se presenta el problema: Tu misión es hacer que el carro recorra una distancia exacta de 3 kilómetros. ¿Qué tiempo le programarías para que se detenga exactamente a esa distancia?

### Actividad 2: Toma de datos

Los estudiantes trabajan con el carro construido y toman algunas distancias recorridas por el carro para tiempos entre 0 y 45 segundos.

### Actividad 3: Representación gráfica de los datos.

En este momento, los estudiantes analizan el comportamiento de los datos en la gráfica para poder predecir la distancia recorrida para algún tiempo sin que el carro la recorra, o el tiempo que se debe programar para que el carro recorra alguna distancia; por ejemplo los 3 kilómetros que se pedían en el problema.

- Cálculo diferencial con aprendizaje por proyecto empleando MatLab y Robots LEGO NXT<sup>23</sup>, México.

Los docentes Teresita Montañez, Cinthia González, Michel García y Manuel Escalante (2009), describen la experiencia docente adquirida al emplear herramientas tecnológicas para impartir un curso de cálculo diferencial a estudiantes de licenciatura, implementando así una nueva dinámica de enseñanza.

El objetivo del curso contempla que el estudiante aplique los principales conceptos, definiciones y teoremas del cálculo diferencial a la resolución de problemas reales.

Los estudiantes construyen progresivamente sistemas computacionales que simulan los componentes que intervienen en una cirugía ocular con rayos láser, mediante el desarrollo de diferentes algoritmos, cuyo sustento radica en el cálculo

---

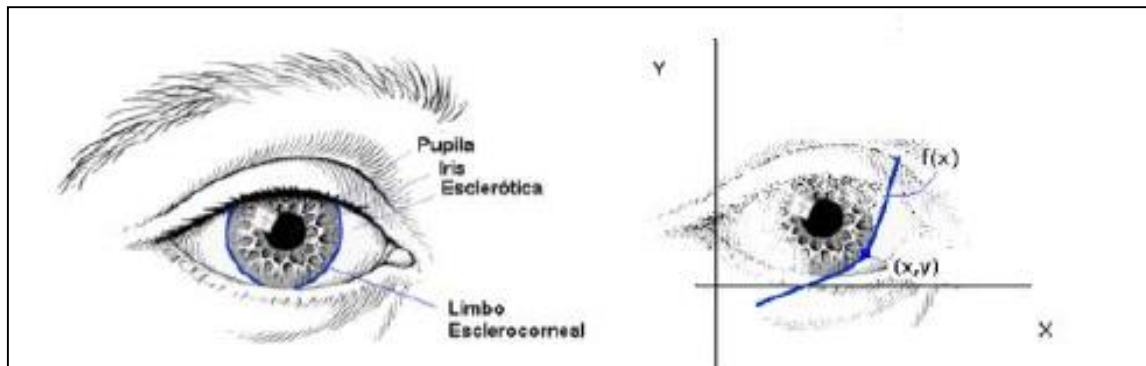
<sup>23</sup> Tomado de <http://www.tizimin.uady.mx/filesWeb/CalculoDiferencialCCITA2009.pdf>

<http://www.tizimin.uady.mx/filesWeb/evolucioncursocalculodiferencial2.pdf>

diferencial. Se emplean robots LEGO NXT, el lenguaje de programación NXT-G y el software MatLab, así como la metodología denominada "Aprendizaje basado en proyectos".

El objetivo de realizar un proyecto durante el curso consiste en llevar a la práctica los conceptos teóricos abordados durante el trabajo. En el proyecto propuesto se relaciona a las ciencias computacionales con las ciencias de la salud, con la finalidad de abrir el camino hacia el análisis y la reflexión acerca del grado de responsabilidad que tiene el profesional que desarrolla tecnología, cuando esta será empleada en procesos que requieren de la máxima precisión posible.

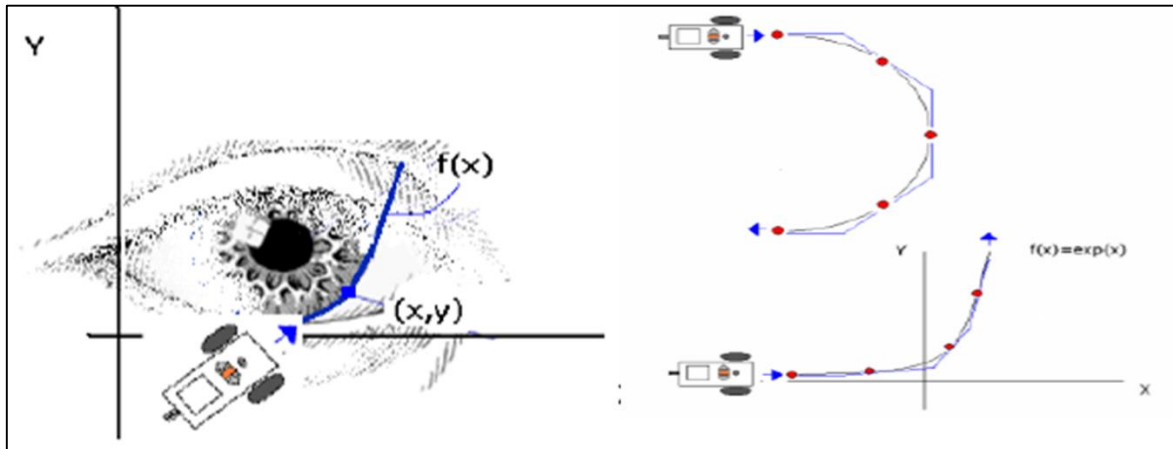
Al realizar la simulación de una cirugía ocular hecha con rayos láser para corregir defectos visuales, se requiere realizar un cálculo muy preciso pues, un mínimo error en la ruta de corte ocasionaría un defecto no corregido en la visión del paciente. Específicamente, el corte se realiza sobre el limbo esclerocorneal y se aplica el rayo láser en el lecho corneal, remodelando así la córnea y cambiando su curvatura para corregir defectos de refracción, tales como miopía, hipermetropía y astigmatismo (véase Figura 15).



Fuente: <http://www.tizimin.uady.mx/filesWeb/CalculoDiferencialCCITA2009.pdf>

Figura 15. En el ojo se observa la esclerótica y el limbo esclerocorneal. Los puntos de corte  $(x, y)$  están definidos por una función  $f(x)$ .

De este procedimiento quirúrgico se desprenden los proyectos que consisten en realizar una simulación: el primero, sobre un acercamiento virtual de una lupa de aumento y el segundo, sobre un corte que se realiza en el ojo empleando rayos láser (véase Figura 16).



Fuente: <http://www.tizimin.uady.mx/filesWeb/CalculoDiferencialCCITA2009.pdf>

Figura 16. La trayectoria definida por la función  $f(x)$  es recorrida por el robot LEGO NXT.

A través de todas las actividades realizadas por los estudiantes y el profesor durante el curso se obtienen los siguientes beneficios para el educando:

- Valora la utilidad de sus conocimientos adquiridos en clase, así como la responsabilidad inherente al uso adecuado de tales conocimientos.
- Se introduce de manera natural en el manejo de conceptos teóricos del cálculo diferencial, tras la necesidad de emplearlos para dar solución a un problema real.
- Tiene la oportunidad de visualizar una de las opciones para desempeñarse en su futuro quehacer profesional y puede apreciar la relación existente entre las diferentes disciplinas de la ciencia para poder realizar el desarrollo de un proyecto en particular.

- Se eleva su calidad de aprendizaje, pues permanece motivado durante todo el curso, en parte por la construcción de un robot autónomo y la posibilidad de controlar su funcionamiento a través de la programación.
- Despierta un interés por la investigación y la búsqueda de soluciones que generen nuevo conocimiento.
- Desarrolla actitudes como: honestidad, respeto, creatividad y responsabilidad.

En cuanto al profesor, renueva su compromiso por estar actualizado y su grado de satisfacción respecto al proceso enseñanza aprendizaje es mucho mayor.

Algunos problemas que pueden ser considerados desventajas y que se presentaron durante la impartición del curso fueron los siguientes:

- El tiempo para cubrir la totalidad del contenido de la asignatura aumenta considerablemente debido a los mini cursos de Matlab y robótica con LEGO que el alumno tomó dentro de la asignatura de cálculo diferencial.
- Los alumnos tienen una mayor carga de trabajo, debido a los cursos extras y por el proyecto que tienen que desarrollar.
- El profesor requiere invertir tiempo en investigar técnicas de enseñanza, tecnología y las competencias profesionales del futuro egresado.

## **2.8. Discusión**

En este capítulo se hizo un recorrido por los principales paradigmas de la educación, entre los cuales se mencionó al conductista, sociocultural, cognitivo y constructivista. También se comentó sobre el aprendizaje significativo y la resolución de problemas.

Se mencionó cómo los programas de Matemática utilizados en Costa Rica hasta el año 2012, no solo consideraban aspectos del conductismo, sino también de las otras corrientes psicológicas. Sin embargo, la realidad en las aulas fue que los métodos pedagógicos que predominaron fueron los expositivos que fomentan la pasividad de los alumnos.

Sin embargo, en busca de una mejora en el proceso enseñanza- aprendizaje, el MEP impulsó una reforma de la educación matemática de Costa Rica, mediante los planes de estudio de Matemáticas para el periodo 2013-2014, donde pretende enfatizar el trabajo con problemas asociados a los entornos reales, físicos, sociales y culturales. Esa iniciativa dejó una puerta abierta a la innovación en las técnicas de enseñanza que incorporen herramientas tecnológicas más recientes.

Asimismo, Se comentaron generalidades de la educación primaria en Costa Rica como ciclos (primero y segundo), años (tres años por ciclo, 6 años en total), finalidades de aquella, asignaturas que se trabajan, conocimientos básicos para ingresar a primaria, contenidos a trabajar en el primer y segundo ciclo, así como la importancia de la geometrías en las etapas tempranas de la educación.

Posteriormente, se hizo un recorrido por algunas de las definiciones de robótica, su historia en los últimos 100 años, su incorporación en la educación, potencial pedagógico en diferentes disciplinas y algunos robots educativos que se encuentran en el mercado: Fischertechnik, Creative Systems Colombia, Meccano y Lego Mindstorms Education.

Se va concluyendo el capítulo con un compilado de experiencias de la implementación de la robótica en la educación; a nivel internacional se mencionaron experiencias en: España, Portugal, Colombia, Venezuela y Barcelona. A nivel nacional se citaron algunas iniciativas como: la Fundación Omar Dengo, algunas escuelas y colegios (Escuela Winston Churchill Spencer, Escuela Ricardo Jiménez Oreamuno y Escuela Jesús Jiménez Zamora) y la III Olimpiada Nacional de Robótica

Y para terminar se incluyeron algunas actividades internacionales de la robótica educativa en el área de Matemática: Portugal (Matemática básica: multiplicación y división), Colombia (función lineal o correlación lineal) y México (cálculo diferencial).

## Capítulo 3.

# Propuesta para la creación de una lección de Matemática utilizando un robot

---

Con base en los planteamientos que surgen del paradigma constructivista anteriormente expuestos, los ejemplos de implementación a nivel nacional e internacional y el ambiente de reforma educativa imperante en Costa Rica, se optó por plantear una propuesta para la enseñanza de la matemática utilizando un robot como herramienta didáctica. A continuación se explican cada uno de los detalles de dicha propuesta.

La Reforma de la Educación Matemática de Costa Rica, que empieza a regir a partir del 2013 pretende enfatizar el trabajo en el aula con problemas asociados a los entornos reales, físicos, sociales y culturales como una fuente en la construcción del aprendizaje en matemáticas, basado en los siguientes ejes disciplinarios: la resolución de problemas, la contextualización, el uso de tecnologías digitales, la potenciación de actitudes y creencias positivas en torno a las matemáticas y el uso de la historia de las matemáticas. Lo que deja el camino abierto para que los docentes incorporen nuevas técnicas de enseñanza, cambiando el usual método expositivo que ha predominado.

Con la robótica se pretende que el estudiante pueda construir su aprendizaje de la Matemática mientras manipula un robot. Es una herramienta que motiva y entusiasma, requiere de trabajo cooperativo y estimula la imaginación, creatividad y el razonamiento por parte de los estudiantes.

Para lograr tales objetivos, este tipo de acciones requieren de una planificación previa por parte del docente, orientada a incorporar la robótica como una

herramienta dentro de su clase. Este proyecto plantea al profesional en educación, una propuesta de lección de Matemática utilizando un robot dibujante.

Dicha lección busca fomentar el aprendizaje significativo e individual presentado por Ausubel, ya que se pretende que el estudiante utilice las herramientas facilitadas por el docente para resolver el problema planteado. Así, es el estudiante quien debe estar en capacidad de aprender y enseñarse a aprender, mientras que el maestro debe facilitarle experiencias didácticas.

Una alternativa para lograr este objetivo es la planificación de la actividad de enseñanza-aprendizaje bajo un formato de guías, donde se le indica en un documento escrito al estudiante, las actividades que debe de realizar mientras que el docente se mantiene al margen, solo interviniendo en aquellos casos en que sea necesario.

Además, por medio de las guías para docente y alumno, se busca que el primero pierda cualquier temor que tenga de incorporar la robótica en sus lecciones. Por el contrario, si se logra motivarlo, influirá positivamente en sus estudiantes. Si ambos se sienten atraídos por esta técnica pedagógica, y no simplemente son exigidos a usarla por las autoridades educativas u otros factores externos, el aprendizaje será más eficiente.

### **3.1. Estructura de la propuesta**

En esta sección se plantea una propuesta del proceso que se debe llevar a cabo, si se desea utilizar la robótica educativa como una herramienta didáctica y motivacional en la enseñanza de la Matemática.

A continuación se presenta el procedimiento general mediante la explicación de un ejemplo concreto.

- El proceso debe de iniciar con una selección del programa de educación de los conocimientos<sup>24</sup> y habilidades<sup>25</sup> que puedan ser enseñados con la ayuda de un robot programable. Para el caso de este proyecto los temas se seleccionaron a partir de la nueva propuesta curricular en Matemática, la cual empezó a regir a partir del 2013.

Para el ejemplo a explicar se seleccionaron los siguientes conocimientos del tema de Geometría (Nivel I),

- Conocimientos: Líneas rectas y líneas curvas
  - Habilidad específica: Trazar e identificar líneas rectas y líneas curvas
- Con el conocimiento y habilidad seleccionada, se planea y diseña una o varias actividades con las que el estudiante pueda adquirir las habilidades propuestas, utilizando un robot.

Para el ejemplo específico de este proyecto se diseñó una actividad en la que un robot dibujará líneas rectas y curvas sobre un pliego de papel, de acuerdo a lo que seleccione el estudiante en la interfaz de un programa realizado en computadora que controla al robot. Luego se le solicita al estudiante identificar y clasificar líneas rectas y curvas dentro del aula o en una excursión por la escuela.

- Con la actividad planeada, se debe construir un robot que logre los objetivos propuestos en dicha actividad.

El robot diseñado y construido para la ejecución de la actividad planeada recibe el nombre de GeoBot. La selección y justificación del tipo de robot, así como su diseño se explican en el Apéndice C.

Cuando el robot está construido, se programa para que ejecute las acciones que se proponen en la actividad. Aquí es donde se planea la

---

<sup>24</sup> Los conocimientos son los contenidos de cada uno de los temas.

<sup>25</sup> Las habilidades específicas son los objetivos que se pretende que cada estudiante logre asociados a cada uno de los conocimientos.

interfaz que le va a servir al estudiante para poder controlarlo de manera sencilla e intuitiva. Esta interfaz se puede programar mediante un lenguaje de programación de código abierto.

Para el caso de GeoBot, la programación se hizo en Java y su proceso se explica en el **Capítulo 5: Diseño e implementación del software de control del robot**.

- Con el robot construido y programado, se puede trabajar en el diseño de las guías de trabajo para los estudiantes y para el docente. A continuación se explica y ejemplifica la construcción de estas guías.

### **3.2. Requerimientos para la elaboración de las guías**

En la elaboración de las guías tanto del docente como del alumno se definieron los siguientes criterios.

- La guía para el docente, debe de:
  - Ser clara sobre la población a la cual va dirigida la actividad.
  - Indicar al docente cuáles son las actividades por parte de él, previas a la ejecución de la actividad en el aula.
  - Indicar todos los materiales necesarios para la ejecución de la actividad en la sala de clase.
  - Indicar los requerimientos del aula de trabajo.
  - Indicar la disposición del tiempo para el inicio, desarrollo y cierre de la actividad.
  - Orientar al docente en todo momento del desarrollo de la actividad.

- La guía de trabajo para el alumno debe:
  - Ser corta y sencilla de entender por el alumno.
  - Contener la mayor cantidad de imágenes explicativas para ayudar a la comprensión del alumno.
  - Ser auto contenida, para que el alumno pueda ser independiente en su trabajo. Esto quiere decir que debe de llevar además de las instrucciones de la actividad, pequeños recuadros informativos, ya sea con conceptos (para niños de segundo ciclo) o con explicaciones (para los niños de primer ciclo).
  - Contener al final una “actividad reto” para el estudiante, de tal forma que con poca explicación, este sea capaz de resolver un problema propuesto.

### **3.3. Propuesta de construcción de la guía para el docente**

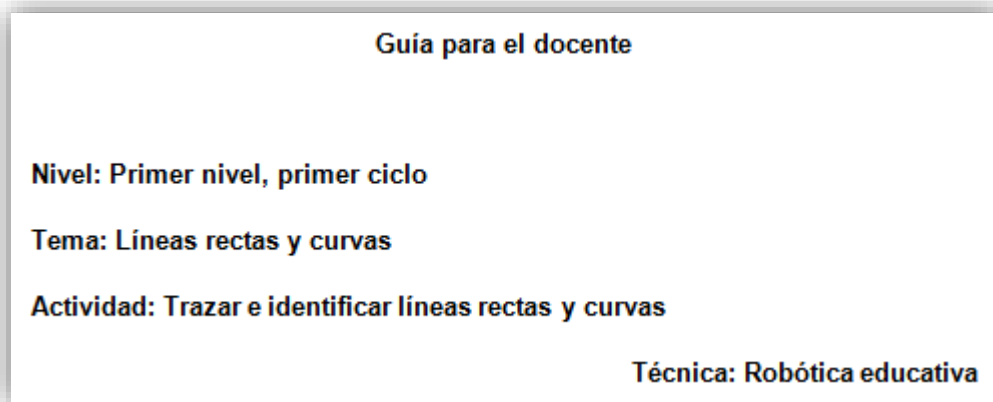
Es un documento dirigido al docente para orientarlo en el uso de las guías de trabajo creadas para los estudiantes y constituye su planeamiento de clase para la realización de la actividad en el aula.

A continuación se detallan aspectos importantes por incorporar y, en un recuadro. La ejemplificación de estos aspectos con el caso de una guía particular:

- La guía debe iniciar con un encabezado donde se indique:
  - Nivel: se indica año y ciclo del programa de estudios para el cual está dirigida la guía.
  - Tema: aquí se anota el conocimiento que se identificó del programa de Matemática.

- **Actividad:** se indica con pocas palabras el nombre de la actividad que se realizará para lograr la habilidad que indica el referido programa. Si el conocimiento tiene varias habilidades, se deben hacer varias actividades; de preferencia cada actividad será una guía de trabajo para el estudiante; se puede observar cómo se trabajó este caso para el conocimiento de ángulos en el Apéndice B: Guía de trabajo para los estudiantes, actividades 2, 3, 4.
- **Técnica:** es el tipo de lección que se realizará; puede ser robótica educativa, juegos, asistida por computadora o magistral.

De seguido, se presenta un ejemplo del encabezado de la guía para el docente.



Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

Figura 17. Encabezado, guía del docente.

- Debe contener el o los objetivos de la actividad con el propósito de que el docente conozca lo que realizará el estudiante en la actividad, tal como se muestra en la siguiente figura:

### **Objetivos**

El estudiante será capaz de:

- Controlar los movimientos del robot GeoBot mediante una interfaz generada en Java.
- Trazar líneas rectas utilizando al robot GeoBot.
- Trazar líneas curvas utilizando al robot GeoBot.
- Identificar líneas rectas y curvas en objetos que se encuentren en el aula o fuera de ésta.

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

Figura 18. Objetivos, guía del docente.

- Debe de contener los conocimientos previos necesarios que deben tener los estudiantes para ejecutar con éxito la actividad:

### **Conocimientos previos de los estudiantes**

- Saber leer.
- Uso básico de Windows (XP o Vista): abrir archivos, uso del mouse.

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

Figura 19. Conocimientos previos de los estudiantes, guía del docente.

- Debe contener una sección donde se indiquen otros propósitos educativos aparte de los objetivos, como lo muestra este ejemplo:

#### **Otros propósitos educativos**

- Motivar a los y las estudiantes en el uso de la tecnología y la robótica para el aprendizaje de la matemática.
- Desarrollar la motora fina de los y las estudiantes a través del uso de la computadora y del robot.
- Fomentar el trabajo independiente y participativo en el aula.

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

Figura 20. Otros propósitos educativos, guía del docente.

- Debe contener una lista con los recursos didácticos que se necesiten para el desarrollo de la actividad. Separados en los recursos computacionales, para el estudiante y para el docente, de ser necesario, tal como aparecen en la siguiente figura:

## **Recursos didácticos**

### **Computacionales**

- Programas residentes en la computadora: Windows (XP o Vista), java.
- Aplicación computacional: GeoBot.

### **Para el estudiante**

- Guía de trabajo para el estudiante, del tema: Líneas rectas y curvas. Consiste en un material impreso, donde se le dan una serie de instrucciones con el fin de conseguir los objetivos de la actividad.
- Lápiz o lapicero.
- Un robot que dibuja (GeoBot), construido con LEGO MINDSTORMS para cada pareja de alumnos, las instrucciones de armado se adjuntan en el archivo llamado: Manual de ensamble de GoeBot.pdf.
- El cable de descarga USB para cada uno de los robots.
- Un marcador con un diámetro de 1 cm aproximadamente por robot. Este marcador debe estar colocado en el soporte para marcador del robot.
- Una computadora portátil para cada pareja de estudiantes.
- Tres pliegos de papel por pareja de estudiantes, las dimensiones deben ser:
  - 50 cm por 40 cm.
  - 70 cm por 45 cm.
  - 60 cm por 50 cm.
- Una cinta adhesiva o Masking tape.

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

Figura 21. Recursos didácticos, guía del docente.

- Debe tener una sección de requerimientos del aula; en este tipo de actividad es muy importante, ya que no se puede trabajar utilizando robots en un aula de pupitres comunes. Véase la figura a continuación.

### Requerimientos del aula

- Mesas planas y horizontales de trabajo con dimensiones de 1 m de largo por 70 cm de ancho, para cada pareja de estudiantes. Las mesas pueden ser similares a las de la siguiente fotografía.



También puede ser una o varias mesas más grandes colocadas en el centro del aula y que los estudiantes trabajen alrededor.



- Tomacorrientes cercanos a las mesas de trabajo, para las computadoras portátiles.

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

Figura 22. Requerimientos del aula, guía del docente.

- Puede tener una sección de recomendaciones, donde se expliquen algunas cosas que no se hayan dicho y que sean importantes de mencionar para que el docente las considere antes de iniciar su clase:

### Recomendaciones

- Entregue una guía a cada pareja de estudiantes.
- Lleve guías adicionales, por si algún estudiante rompe, ensucia o mancha el material que se le entregará.
- Los robots deben de estar contruidos y el pilot cuando se encuentre ajustado al soporte de pilot debe de calibrarse su posición para que cuando se ejecuten los movimientos, este logre llegar hasta el pliego de papel y pueda dibujar.
- Las baterías de los robots deben estar cargadas.
- Lleve pliegos de papel adicionales, por si algún estudiante necesita más.

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

Figura 23. Recomendaciones, guía del docente.

- En la sección del desarrollo de la lección se indica el tiempo total de la actividad y se da una descripción del objetivo de esta, como se aprecia en este ejemplo:

### Desarrollo de la lección (45 minutos)

Esta actividad consiste en un ejercicio donde se le solicita al estudiante que trabaje con un robot para dibujar varias líneas rectas y curvas, en diferentes direcciones y de diferentes tamaños. Con el fin de que al ver los trazos que hace el robot, el estudiante pueda comprender la diferencia entre una línea recta y una línea curva. Además se le solicitará que realice una figura (que se le muestra), utilizando el robot, la cual está formada por rectas y curvas. Para lograr lo anterior, cada pareja de estudiantes debe de trabajar en una computadora y con un robot siguiendo las instrucciones en la guía de aprendizaje correspondiente.

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

Figura 24. Desarrollo de la lección, guía del docente.

La sección anterior se divide en tres partes:

- Inicio de la actividad: se debe indicar el tiempo de inicio y las instrucciones que debe dar el docente a los estudiantes al iniciar la clase. Estas instrucciones pueden ser sobre el trabajo en el aula, el seguimiento de la guía, lo que el estudiante debe anotar en la guía o en su cuaderno de trabajo, qué hacer en caso de dudas, cómo se revisará el trabajo, e instrucciones de cómo y dónde abrir el archivo en la computadora, entre otras. Léase al respecto el siguiente ejemplo:

Inicio de la actividad (10 minutos)

El docente:

Explica a los alumnos los objetivos que se persiguen con el desarrollo de la actividad propuesta y resalta los siguientes aspectos:

- Se debe trabajar, manteniendo el orden y el aseo, con el material que se le entregará y utilizando sus propios instrumentos de trabajo.
- Deben leer con detenimiento las instrucciones que se le brindan y respetar la secuencia de los pasos.
- Anota en la guía lo que se solicite.
- Si en algún paso tienen duda, levanten la mano, para que el docente le atienda en forma individual, y no interrumpan a sus compañeros.
- El trabajo que realicen en el pliego de papel será calificado por el docente en el transcurso de la clase.
- Se debe tener cuidado en la colocación inicial del robot sobre el pliego de papel ya que podría salirse de este mientras dibuja y caerse de la mesa de trabajo.
- Instrucciones de cómo abrir el archivo para trabajar.

Para abrir el archivo: GeoBot Líneas, entre a la carpeta donde el docente haya guardado el archivo (el docente también puede dejarlo en el escritorio para mayor facilidad) y haga doble click sobre el archivo con el nombre GeoBot Líneas.

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

Figura 25. Inicio de la actividad, guía del docente.

- Desarrollo de la actividad: se debe indicar el tiempo de desarrollo, la entrega de los materiales de trabajo a los estudiantes y el papel del docente durante la actividad:

Desarrollo de la actividad (30 minutos)

El docente hace entrega a cada pareja de estudiantes de:

- La "Guía de trabajo para el estudiante. Tema: Líneas rectas y curvas".
- La computadora portátil.
- El robot GeoBot.
- El cable USB.
- Uno de los pliegos de papel para dibujar, otro se entrega hasta que se vaya a dibujar las líneas curvas y el último se entrega hasta que se vaya a construir la figura formada por rectas y curvas.
- La cinta adhesiva o Masking tape.

Una vez que ha entregado el material, indicar a los y las estudiantes que pueden iniciar, y se mantiene supervisando la disciplina y aclarando cualquier duda.

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

Figura 26. Desarrollo de la actividad, guía del docente.

- Cierre de la actividad: se debe indicar el tiempo de cierre y alguna actividad rápida que pueda hacer el docente para realizar una revisión del trabajo realizado:

Cierre de la actividad (5 minutos)

El docente pega en la pizarra los pliegos de papel con el trabajo de cada pareja para hacer una revisión de lo realizado, y que todos los alumnos puedan ver el trabajo de los demás compañeros. Comenta con los estudiantes aspectos relevantes e interesantes de la actividad.

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

Figura 27. Cierre de la actividad, guía del docente.

- Por último se puede agregar una sección de observaciones que le puede servir al docente para anotar comentarios positivos y negativos de la actividad para una futura aplicación:

Observaciones

---

---

---

---

---

---

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

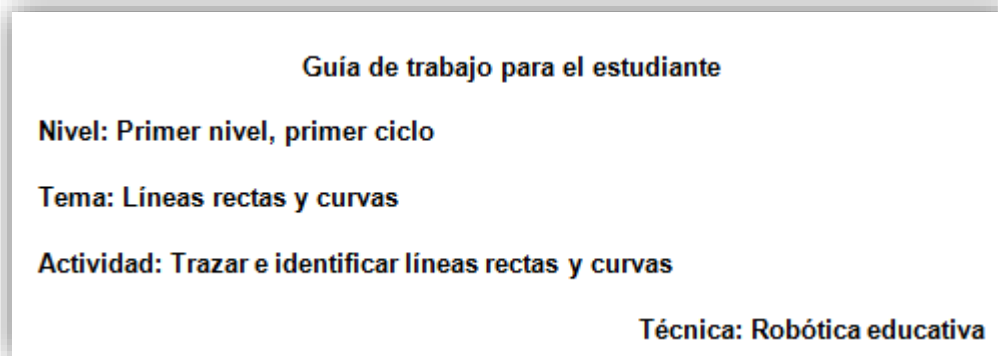
Figura 28. Observaciones, guía del docente.

### **3.4. Propuesta de construcción de la guía de trabajo para el estudiante**

La guía de trabajo para el estudiante es un documento que le indica al estudiante cuáles son los pasos a seguir para la realización de la actividad, la cual puede ser en el aula o inclusive fuera de esta.

A continuación se detallan aspectos importantes a incorporar y, en un recuadro, la ejemplificación de estos aspectos con el caso de una guía particular:

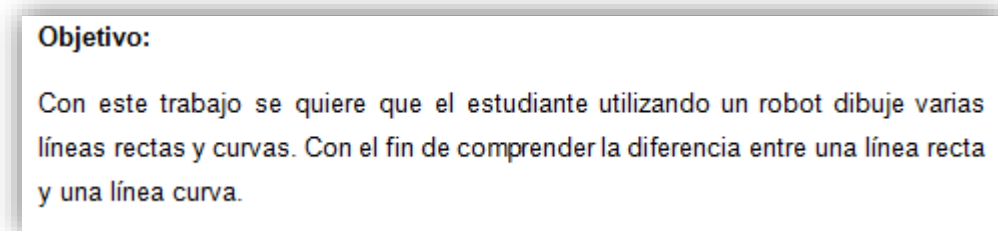
- La guía se debe iniciar con un encabezado donde se indique:
  - Nivel: se indica año y ciclo del programa de estudios para el cual está dirigida la guía.
  - Tema: aquí puede anotarse el conocimiento que se identificó del programa de Matemática.
  - Actividad: se indica con pocas palabras el nombre de la actividad que se realizará para lograr la habilidad que indica el programa de Matemática.
  - Técnica: es el tipo de lección que se realizará; puede ser robótica educativa, juegos, asistida por computadora o magistral.



Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

Figura 29. Encabezado, guía del estudiante.

- La guía debe contener una breve descripción del objetivo de la actividad con el propósito de que el estudiante se haga una idea de lo que realizará, como se muestra de seguido:



Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

Figura 30. Objetivo, guía del estudiante.

- Se le indican al estudiante recomendaciones para que el desarrollo de la actividad se realice de la mejor manera:

**Recomendaciones:**

Para un mejor aprovechamiento lea detenidamente las instrucciones y las explicaciones que se enmarcan en un recuadro anaranjado.

En el transcurso de la lección si tiene alguna duda, levante la mano para que le atienda su maestro.

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

Figura 31. Recomendaciones, guía del estudiante.

- Y por último, se detallan las instrucciones; en estas se le va indicando al estudiante los pasos que debe de seguir.
  - Primero se indica cuáles son los materiales que se necesitan para el desarrollo de la actividad y cuál debe de ser la preparación inicial; es importante agregar imágenes ya que la ayuda visual es importante a esta edad de los niños para seguir instrucciones, como se muestra en la figura:

**Instrucciones:**

1. Para el desarrollo de la actividad debe tener un pliego de papel, en el que podrá poner a su robot a dibujar lo que usted le indique.
2. Pegue el pliego de papel con cinta adhesiva sobre la mesa de trabajo, como se muestra en la siguiente imagen:



Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

Figura 32. Instrucciones iniciales y pegado del papel, guía del estudiante.

- Se indica cómo se hace la conexión del robot con la computadora para poder utilizar la interfaz programada:

3. Coloca el robot cerca de su computadora, asegúrate de que el marcador esté destapado y en la posición hacia arriba.

Luego utiliza el cable USB para conectar el robot a la computadora.



La conexión se muestra en la siguiente imagen:



Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

Figura 33. Conexión de GeoBot con la computadora, guía del estudiante.

- Se le indica al estudiante la ubicación del archivo de la interfaz y se agrega una imagen de la ventana que se abrirá; esto puede ayudar a que el estudiante se dé cuenta si abrió el archivo correcto:

4. Abra el archivo de su computadora que se llama GeoBot, este debe de estar en el escritorio de su computadora o donde su maestro le haya indicado. Cuando lo abra, verá una pantalla como la siguiente:



A esta pantalla la llamaremos Interfaz.

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

Figura 34. Interfaz, guía del estudiante.

- Se le indica al estudiante dónde debe colocar el robot para ponerlo a dibujar, como lo muestra la siguiente figura:

5. A continuación se ejecutarán algunos movimientos, coloca el robot sobre el pliego de papel, como se muestra en la foto.



Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

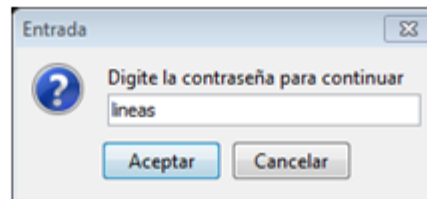
Figura 35. Colocación de GeoBot, guía del estudiante.

- Se explica al estudiante con un ejemplo guiado como se utiliza la interfaz para darle una orden al robot (Figuras 36 a 40):

6. Vas a dibujar una línea recta, para lograrlo se utilizará la interfaz, coloca el mouse sobre Líneas, al hacerlo el cuadro que está al inicio cambiará a color verde, como se muestra a continuación:



Al hacer click se abrirá una ventana como la siguiente:



Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

Figura 36. Cómo utilizar la interfaz “rectas” (a), guía del estudiante.

7. La contraseña que debe digitar es: líneas, luego haga click en el botón Aceptar. Se abrirá una ventana como la siguiente:



Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

Figura 37. Como utilizar la interfaz “rectas” (b), guía del estudiante.

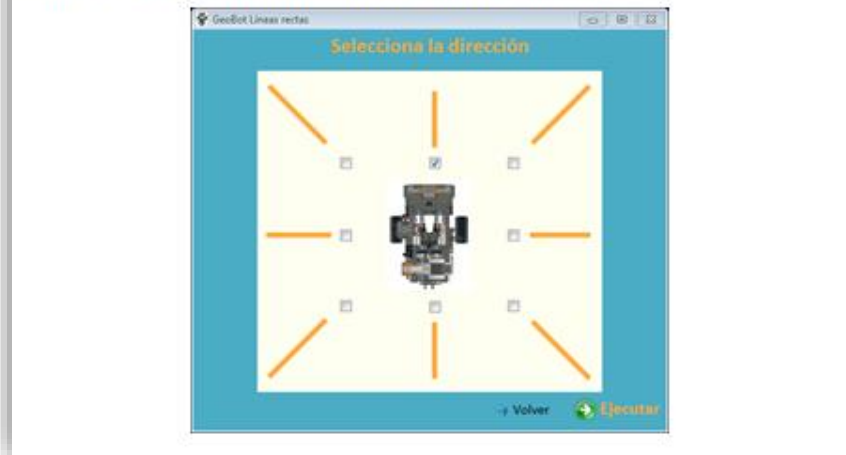
8. Luego coloca el mouse sobre Líneas rectas, al hacerlo el cuadro que está al inicio cambiará a color verde, como se muestra a continuación:



Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

Figura 38. Como utilizar la interfaz “rectas” (c), guía del estudiante.

Al hacer click se abrirá una ventana como la siguiente:



Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

Figura 39. Como utilizar la interfaz “rectas” (d), guía del estudiante.

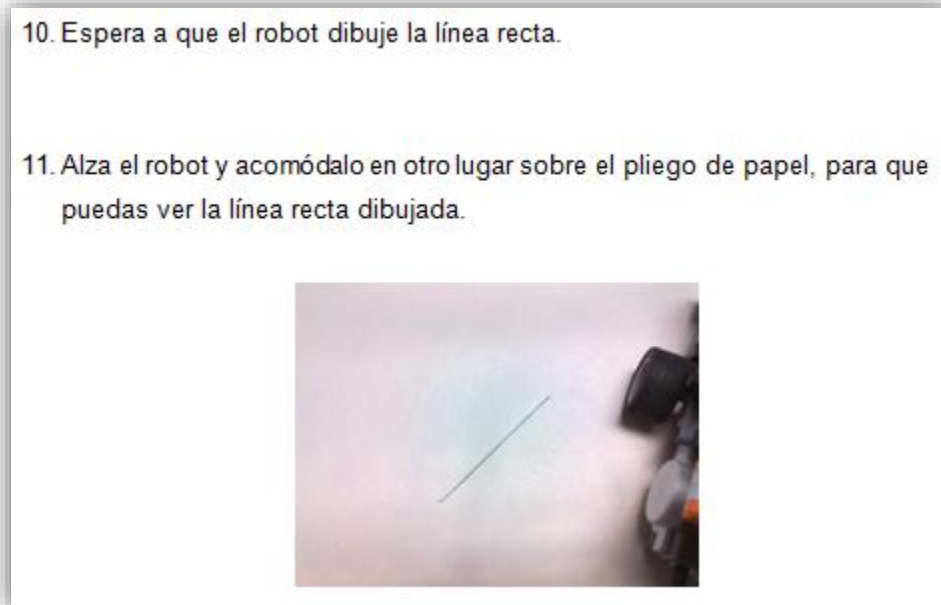
9. Seleccione la dirección de la línea recta, tal y como se muestra en la siguiente figura:



Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

Figura 40. Como utilizar la interfaz “rectas” (e), guía del estudiante.

- De ser necesario, se le indica que debe de darle tiempo al robot para que ejecute el movimiento solicitado y se le muestra una imagen con el resultado esperado, como en la Figura 41:

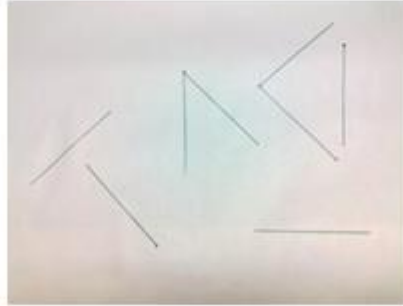


Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

Figura 41. Instrucciones de espera y dibujo de la línea recta dibujada por el robot, guía del estudiante.

- Se le insta para que le indique al robot que realice otras de las acciones que tiene programadas según la interfaz:

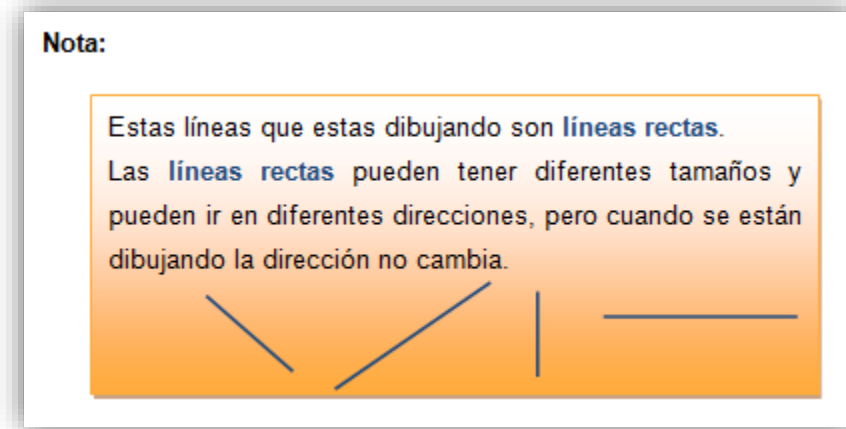
12. Utiliza la interfaz para que el robot dibuje más líneas rectas en diferentes direcciones y en diferentes lugares del pliego de papel, parecidas a las siguientes.



Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

Figura 42. Instrucción y dibujo de más líneas rectas dibujadas por el robot, guía del estudiante.

- Es importante que la guía contenga recuadros explicativos o con definiciones, donde el estudiante vaya formalizando los conocimientos y habilidades establecidas para el desarrollo de la actividad, como se observa en la siguiente figura:



Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

Figura 43. Nota sobre líneas rectas, guía del estudiante.

- En este caso, como se desea que el estudiante identifique dos tipos de líneas (rectas y curvas), entonces se procede a indicarle las instrucciones necesarias para hacer que el robot dibuje el otro tipo de línea (véanse Figuras 44 a 50).


13. Pide a tu maestro otro pliego de papel y cambia el que tienes pegado en tu escritorio.

14. Ahora vas a dibujar una línea curva, coloca el robot sobre el pliego de papel como se muestra en la siguiente figura.



Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

Figura 44. Cómo utilizar la interfaz “curvas” (a), guía del estudiante.

15. Para salir de la pantalla de líneas rectas, presiona el botón . Al hacerlo regresarás a la siguiente pantalla:



Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

Figura 45. Cómo utilizar la interfaz “curvas” (b), guía del estudiante.

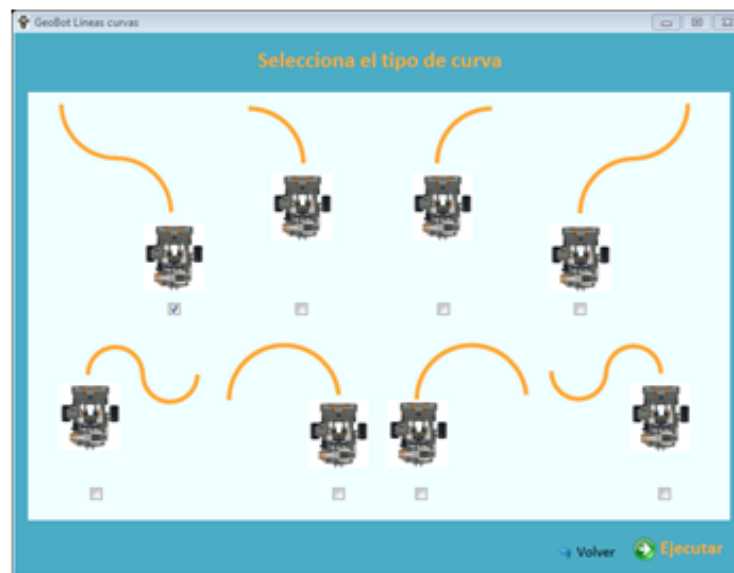
16. Ahora coloca el mouse sobre Líneas curvas, al hacerlo el cuadro que está al inicio cambiará a color verde, como se muestra a continuación:



Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

Figura 46. Como utilizar la interfaz “curvas” (c), guía del estudiante.

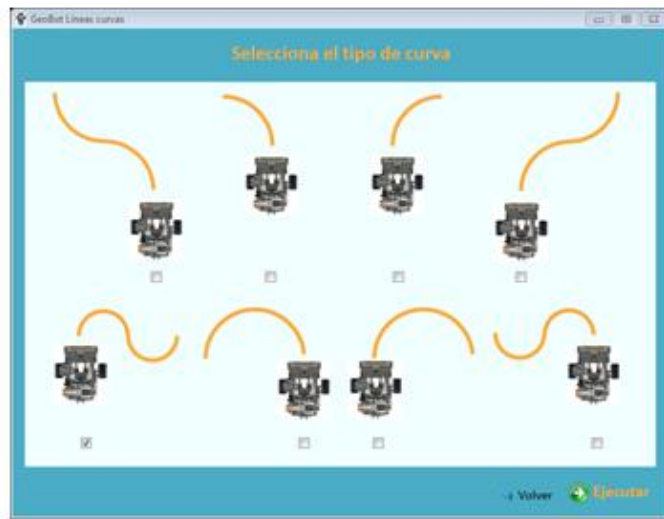
Al hacer click se abrirá una ventana como la siguiente:




Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

Figura 47. Como utilizar la interfaz “curvas” (d), guía del estudiante.

17. Seleccione el tipo de línea curva, tal y como se muestra en la siguiente figura:



Y luego presiona el botón .

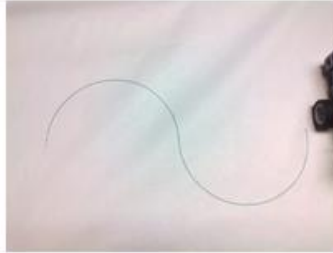
Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

Figura 48. Cómo utilizar la interfaz “curvas” (e), guía del estudiante.

- Nuevamente se le indica que debe darle tiempo al robot para que ejecute el movimiento seleccionado y se le muestra una imagen con el resultado esperado:

18. Espera a que el robot dibuje la línea curva.

19. Alza el robot y acomódalo en otro lugar sobre el pliego de papel, para que puedas ver la línea curva dibujada.



Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

Figura 49. Instrucciones de espera y dibujo de la línea curva dibujada por el robot, guía del estudiante.

- Se le insta para que le indique al robot que realice otras de las acciones que tiene programadas según la interfaz:

20. Utiliza la interfaz para que el robot dibuje más líneas curvas de diferentes tipos y en diferentes lugares del pliego de papel, parecidas a las siguientes.



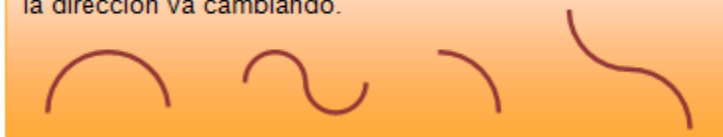
Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

Figura 50. Instrucción y dibujo de más líneas curvas dibujadas por el robot, guía del estudiante.

- Y se vuelve a indicar en un recuadro explicativo el nuevo conocimiento que se está desarrollando en la actividad:

**Nota:**

Estas líneas que estas dibujando son **líneas curvas**.  
Las **líneas curvas** pueden tener diferentes formas y pueden ir en diferentes direcciones, pero cuando se están dibujando la dirección va cambiando.



Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

Figura 51. Nota sobre líneas curvas, guía del estudiante.

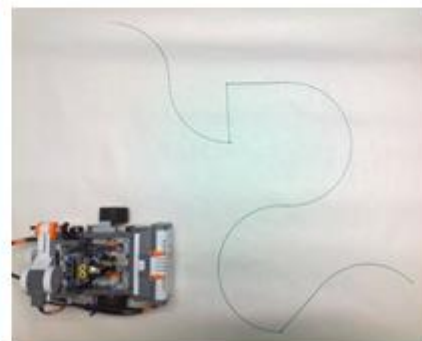
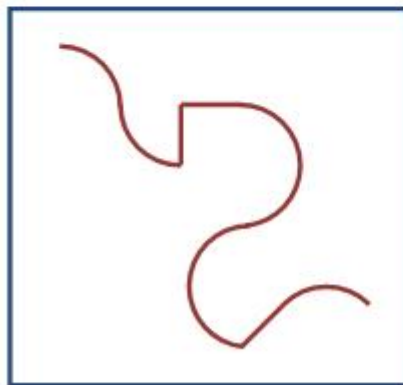
- Otro caso que se puede dar es que se desee que el estudiante identifique elementos de alguna figura, por lo que se procede con instrucciones para lograr este objetivo; un ejemplo se puede ver en el Apéndice B: Guía de trabajo para los estudiantes, Actividad 2.
- La guía debe tener actividades reto para el estudiante. Estos son ejercicios adicionales que podrían ser desarrollados por el estudiante, si ha entendido bien los conceptos anteriores:

21. Pide a tu maestro otro pliego de papel y cambia el que tienes pegado en tu escritorio.

22. Coloca el robot sobre el pliego de papel como se muestra en la siguiente figura.



23. Utiliza la interfaz de líneas rectas y curvas para hacer que el robot haga el siguiente dibujo.



No debes de mover el robot con las manos.

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

Figura 52. Actividad reto, guía del estudiante.

- Por último, si se presta el tema, la actividad se puede complementar con un trabajo exploratorio en el aula o fuera de esta:

24. Observa a tu alrededor e identifica objetos que tengan líneas rectas y líneas curvas. Anótalos en la siguiente lista:

Objetos que tienen líneas rectas	Objetos que tienen líneas curvas

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

Figura 53. Tabla para clasificar líneas rectas y curvas, guía del estudiante.

Tome en cuenta que estos lineamientos no son reglas; si se debe de cambiar algo o agregarlo se puede hacer; su experiencia en el aula es de mucha ayuda cuando se desean realizar este tipo de propuestas.

La justificación de la elección del modelo del robot y sus ventajas, además de los aspectos importantes de la construcción y ensamble de GeoBot, se detallan en el siguiente capítulo.

### 3.5. Discusión

En el presente capítulo se describió la estructura de la propuesta para crear una lección de Matemática utilizando un robot. Dicha propuesta está compuesta por las siguientes etapas: selección de conocimientos y habilidades; planteamiento y diseño de las actividades; construcción y programación del robot.

El objetivo del capítulo se centra en la explicación del diseño de las guías de trabajo para los estudiantes y el docente. Los requisitos para la elaboración de las guías se explican y luego se brinda una propuesta de construcción para ambas guías, en la cual se explican paso a paso las partes que la constituyen.

En el caso de la guía para el docente, se estableció que esta debía contar con: encabezado (nivel, tema, actividad, técnica), objetivos, conocimientos previos de los estudiantes, otros propósitos educativos, recursos didácticos (computacionales, para el estudiante, para el docente), requerimientos del aula, recomendaciones, desarrollo de la lección (inicio, desarrollo y cierre de la actividad) y observaciones. Cada una se explicó e ilustró con un ejemplo de una guía específica de las cuatro que se encuentran en el apéndice.

En el caso de la guía para el estudiante, se consideró que esta debía contar con: encabezado (nivel, tema, actividad, técnica), objetivo, recomendaciones, e instrucciones de trabajo. En las instrucciones se debe detallar (de ser posible con imágenes) cada paso a seguir, ubicación del archivo de interfaz para abrirlo, conexión del robot con la computadora, manipulación de la interfaz; además se debe agregar recuadros teóricos con el fin de que la guía sea un recurso autodidáctico y que el docente tenga la menor cantidad de intervenciones.

También es importante que la guía cuente con actividades reto para el estudiante con las que se pueda evaluar una comprensión más general de los conceptos estudiados. En este caso, cada paso también se explicó e ilustró con un ejemplo de una guía específica de las cuatro que se encuentran en el apéndice.

## Capítulo 4.

### Diseño y construcción del robot “GeoBot”

---

En este capítulo se especifican los requisitos de diseño necesarios para construir un robot capaz de ejecutar las actividades propuestas en el capítulo anterior. Además se muestran tres propuestas de diseño y cuáles fueron los criterios para seleccionar a la ganadora: un robot con ruedas de configuración diferencial.

Luego se explican las consideraciones teóricas necesarias para comprender el diseño seleccionado. Además, se detallan los diferentes módulos que lo componen, así como sus respectivas funciones.

Por último, se muestra la guía de construcción de este robot y se incluye una lista de los sets necesarios de la serie LEGO® Mindstorms® Education, las etapas y piezas requeridas para la construcción del modelo. Adicionalmente, se muestra la forma correcta de conectar los motores con el cerebro del robot.

#### 4.1. Requerimientos de diseño

Para la selección del tipo de robot por construir se tomaron en cuenta varios criterios. El robot debe:

- Ser de fácil construcción; utilizar solamente los kits de “LEGO MINDSTORMS Education NXT Base Set” #ref 9797, y “LEGO MINDSTORMS Education Resource Set” #ref 9695.
- Ser capaz de dibujar con cierta precisión, en el menor espacio de papel posible.

- Ser capaz de dibujar en la menor cantidad de pasos posible, sin que el lápiz tenga que ser ajustado constantemente.
- Ser controlado mediante una interfaz operable desde una computadora personal. esta debe ser sencilla e intuitiva para el usuario.
- Tener un manual de instrucciones sencillo, para facilitar su construcción por parte del profesor.

Además, el programa para la ejecución de los movimientos del robot debe ser creado mediante el software de código abierto LeJOS<sup>26</sup>, que funciona mediante la plataforma Java. Dicho programa debe ser sencillo, de poca extensión, y capaz de realizar tareas poco elaboradas. Esto se mostrará en detalle en el capítulo 5.

## 4.2. Propuestas de diseño

Según los requerimientos especificados se propusieron tres diferentes configuraciones para el robot dibujante:

- Un sistema automatizado de impresión de dibujos, controlado por un PLC y servomotores LEGO. Es un sistema similar a una impresora tradicional.
- Un vehículo robot de cuatro ruedas con un brazo automático capaz de manipular un lápiz o marcador y dibujar según la geometría deseada.
- Un vehículo robot capaz de dibujar mientras se mueve sobre la trayectoria que define el dibujo.

Las ventajas y desventajas de cada sistema se resumen en la siguiente tabla.

---

<sup>26</sup> El software se puede obtener gratis en <http://lejos.sourceforge.net/>

Cuadro 11. Tabla comparativa de las diferentes configuraciones de diseño propuestas.

	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>Sistema de Impresión</b>	Simple de construir	Tamaño de dibujos limitado
	Requiere de pocas piezas	No permite enseñar robótica, pues no es un robot
	Facilidad para controlar la trayectoria del lápiz	
<b>Robot con brazo</b>	Alta versatilidad para dibujar	Necesita muchas piezas para ser construido
	Permite enseñar robótica de manera indirecta	Complejo de construir
	No limita el tamaño de los dibujos a construir	Alta dificultad para controlar la trayectoria del lápiz
<b>Robot dibujante</b>	Facilidad para controlar la trayectoria del lápiz	Necesita muchas piezas para ser construido
	Alta versatilidad para dibujar	Complejidad media para construirlo
	No limita el tamaño de los dibujos a construir	

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Excel.

### 4.3. Propuesta seleccionada

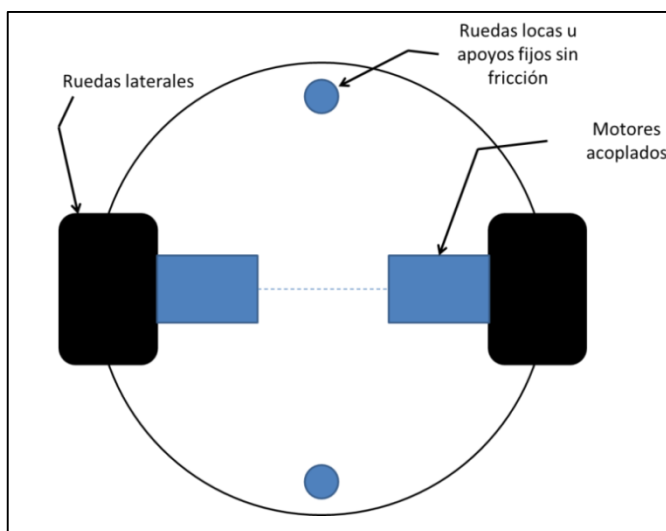
Con base en las características señaladas en el punto anterior, se optó por construir un Robot dibujante según la tercera opción mostrada. Este será un robot con ruedas de configuración diferencial. El uso de ruedas tiene muchas ventajas, entre las cuales Dapena (Unidad III, Tema 2, 2012) menciona:

- Tres ruedas son suficientes para garantizar su estabilidad estática.
- Son simples y fáciles de construir.
- Son eficientes.

- Buena capacidad de carga<sup>27</sup>
- Control sencillo.

La configuración diferencial no es la única existente para un robot con ruedas, también se encuentran el triciclo, Ackerman, orugas, omnidireccional. Sin embargo fue seleccionada la primera ya que, como menciona Dapena (Unidad III, Tema 2, 2012):

- Es un sistema fácil de implementar.
- Tiene un diseño simple.
- Elimina las restricciones holonómicas<sup>28</sup>.



Fuente: Dapena (Unidad III, Tema 2, 2012). Hecho con Microsoft PowerPoint.

Figura 54. Esquema de una configuración diferencial típica

<sup>27</sup> Esta característica es esencial dado el peso de los equipos del LEGO Mindstorms.

<sup>28</sup> La definición matemática del término holonómico se escapa al alcance de esta tesis. Sin embargo, de manera simplificada, un robot es holonómico cuando la cantidad de grados de libertad que se pueden controlar es igual a la cantidad de grados de libertad disponibles (Dapena, Unidad III, Tema 1, 2012). En el caso de la configuración diferencial esto no se cumple, pues el robot es incapaz de moverse en cualquier dirección de manera instantánea, siempre requiere una serie de movimientos de sus motores.

Como se muestra en la Figura 54, el sistema funciona mediante la activación simultánea de dos ruedas conectadas a motores independientes situados en lados opuestos del vehículo. Además existen dos puntos de apoyo adicionales que se colocan a noventa grados del eje de rotación de las ruedas.

Dichos apoyos tienen que ofrecer la menor resistencia al movimiento posible, por lo que se diseñan como “ruedas locas” o puntos de fricción despreciable. Ello se puede apreciar en la Figura 55.



Fuente: [electricbricks.com](http://electricbricks.com) y [brickogeek.com](http://brickogeek.com)

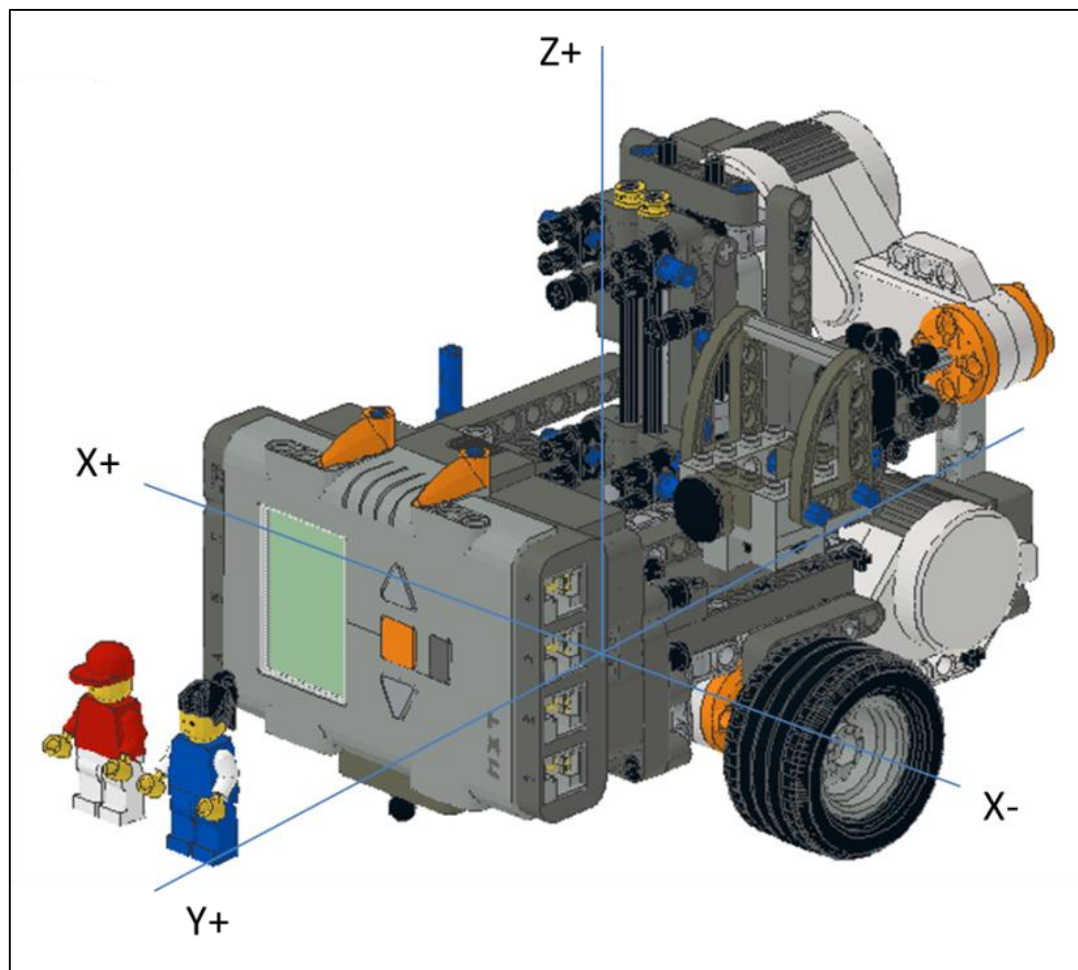
Figura 55. Rueda de castor hecha con LEGO y rueda loca de metal.

Cuando cada una de las llantas gira en sentidos opuestos, el centro geométrico del robot no se moverá de lugar, lo que hace posible colocar el instrumento de dibujo, en este caso un marcador, en la posición cero del sistema de coordenadas, (véase Figura 60. Centro de giro del robot, pág.119). Mediante lo anterior se cumplen los objetivos 2 y 3 del diseño.

#### 4.4. Esquema cinemático

La presente sección muestra la relación entre la geometría del robot, y las velocidades que desarrolla cada una de las ruedas, en un instante determinado. Estas relaciones se presentan mediante esquemas, para el caso en que el robot se desplaza en línea recta, sobre una curva, o cuando gira sobre su propio eje.

Para el planteamiento de dichos esquemas se utiliza el sistema de referencia cartesiano en tres dimensiones, mostrado en la Figura 56.

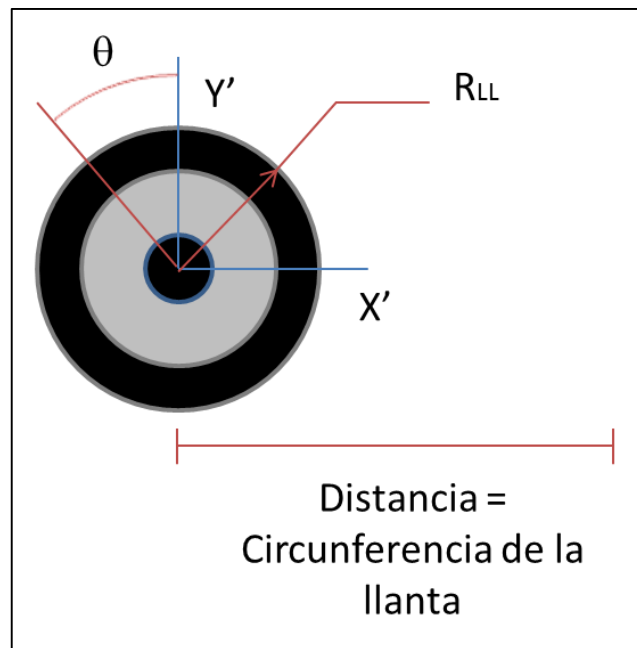


Fuente: Creación propia. Hecho con MLCAD.

Figura 56. Orientación del robot en el espacio.

### 4.4.1. Parámetros de la llanta

En la Figura 57, se pueden apreciar los parámetros fundamentales para describir el movimiento de la llanta, en línea recta hacia adelante. Cabe recalcar que dichos parámetros son útiles para describir los movimientos del robot sobre su propio eje, y en una trayectoria curva, sin embargo se escoge el caso descrito al inicio por simplicidad.



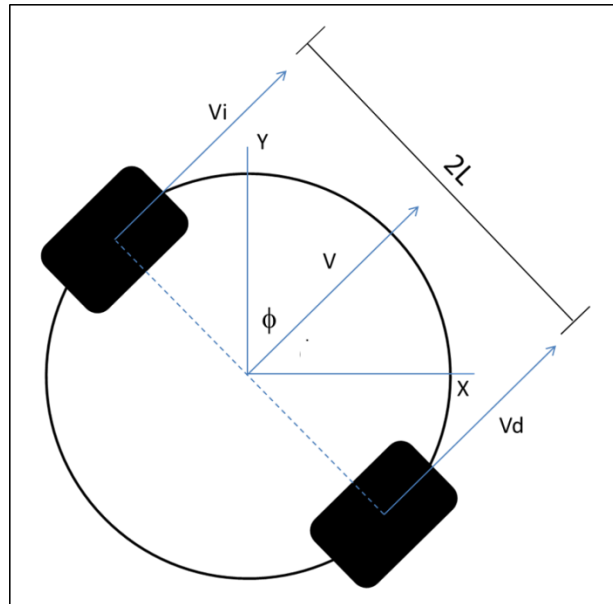
Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft PowerPoint.

Figura 57. Parámetros de la llanta.

- $\theta$ : Ángulo de rotación de una de las llantas robot, sobre su propio eje.
- $R_{LL}$ : radio de una de las llantas del robot
- $C_{LL}$ : Circunferencia de llanta.

#### 4.4.2. Esquema cinemático para el movimiento en trayectoria recta y giro sobre su propio eje

Las características geométricas de este sistema se presentan a continuación:



Fuente: Dapena (Unidad III, Tema 2, 2012). Hecho con Microsoft PowerPoint.

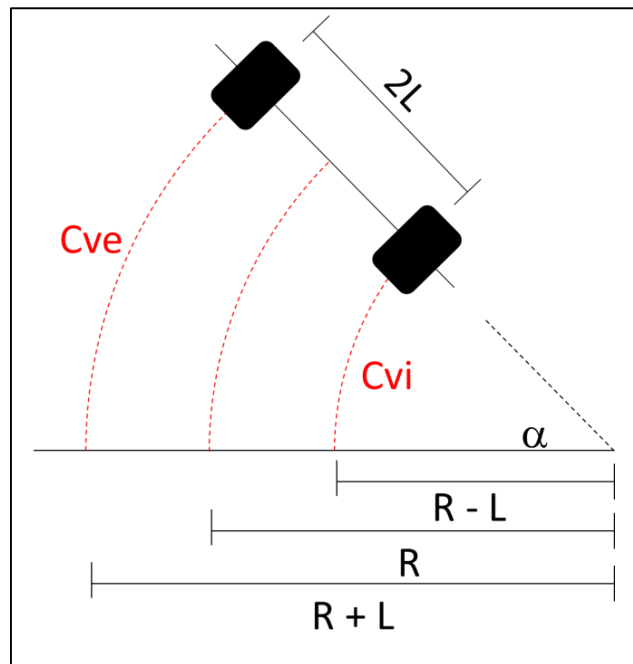
Figura 58. Esquema geométrico de una configuración diferencial.

Las variables que definen como un robot avance en línea recta, o gire sobre el centro del eje de sus llantas, se pueden definir a partir de la Figura 58:

- $2L$ : distancia entre ruedas.
- $L$ : distancia media entre ruedas.
- $V_i$ : Velocidad de la llanta izquierda.
- $V_d$ : Velocidad de la llanta derecha.
- $V$ : Velocidad del robot.

- $\phi$ : Ángulo de giro del robot sobre un eje que cruza por el centro del eje de las llantas.

#### 4.4.3. Esquema cinemático para el movimiento en trayectoria curva



Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft PowerPoint.

Figura 59. Esquema cinemático de un sistema motriz diferencial.

Para el caso de un robot que gira en sobre un punto fuera del eje de sus llantas se definen las siguientes variables, las cuales se observan en la Figura 59.

- $\alpha$ : Ángulo de giro del robot sobre un eje localizado a una distancia  $R$  del centro del robot.
- $R$ : radio de giro del centro del vehículo

- R-L: radio de giro de la llanta interna
- R+L: radio de giro de la llanta externa
- Cve: circunferencia de viaje de la llanta exterior
- Cvi: circunferencia de viaje de la llanta interior

Mediante las variables anteriores se pueden plantear las ecuaciones para cualquiera de los tres casos descritos. Dicho planteamiento se explica en la siguiente sección.

## 4.5. Ecuaciones de movimiento

### 4.5.1. Ecuaciones para el avance en línea recta

Utilizando nuevamente la Figura 57, se puede plantear que la distancia recorrida por una rueda durante una revolución es igual a

$$Dist. Avance = \theta \cdot R_{LL} \quad E. (4.5.1.1)$$

Donde  $\theta$  es el ángulo de rotación de la llanta,  $R_{LL}$  es el radio de la llanta. Entonces, la circunferencia de la llanta se define como,

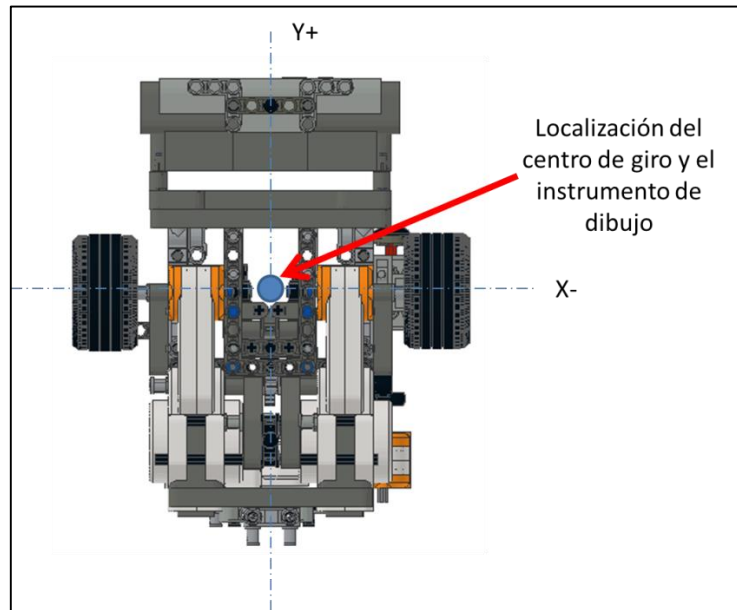
$$C_{LL} = 2\pi \cdot R_{LL} \quad E. (4.5.1.2.a)$$

o de manera equivalente,

$$C_{LL} = \pi \cdot D_{LL} \quad E. (4.5.1.2.b)$$

#### 4.5.2. Ecuaciones de giro sobre su propio eje

En este caso el robot girará sobre un eje imaginario localizado perpendicularmente sobre el eje de giro de sus llantas. Es en este donde se coloca el instrumento para dibujar, como se puede apreciar en la Figura 60.



Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft PowerPoint y MLCad.

Figura 60. Centro de giro del robot.

También se puede definir la distancia recorrida por una llanta en función del ángulo de giro del robot, mostrada en la Figura 58:

$$Distancia = \phi \cdot L \quad E. (4.5.2.1)$$

Combinando la ecuación anterior con la 4.5.1.1 se obtiene una relación para el ángulo de giro de la llanta en función del ángulo de giro del robot:

$$\theta = \frac{\phi \cdot L}{R_{LL}} = \frac{\phi \cdot L \cdot 2\pi}{C_{LL}} \quad E. (4.5.2.2)$$

Evaluando la ecuación anterior con los valores correspondientes al diseño del robot mostrado en el capítulo anterior, se obtiene la relación final entre el ángulo deseado de rotación y la correspondiente rotación de cada una de las llantas:

- $2L = 13.5 \text{ mm}$
- $C_{LL} = 13.51 \text{ mm}$

$$\theta = 3.142 \cdot \phi \quad \text{E. (4.5.2.3)}$$

### 4.5.3. Ecuaciones de giro sobre un punto exterior

Observando la Figura 59, se pueden definir las circunferencias de viaje de cada una de las llantas como sigue:

$$C_{ve} = \alpha \cdot (R + L) \quad \text{E. (4.5.3.1)}$$

$$C_{vi} = \alpha \cdot (R - L) \quad \text{E. (4.5.3.2)}$$

De forma similar al caso anterior, se pueden definir ambas circunferencias como en la ecuación 4.5.1.1; por tanto se escriben las siguientes relaciones para los ángulos de rotación para la llanta externa  $\theta_e$ , y la interna  $\theta_i$ :

$$\theta_e = \frac{2\pi \cdot \alpha \cdot (R + L)}{C_{LL}} \quad \text{E. (4.5.3.3)}$$

$$\theta_i = \frac{2\pi \cdot \alpha \cdot (R - L)}{C_{LL}} \quad \text{E. (4.5.3.4)}$$

Derivando ambas expresiones con respecto al tiempo, se obtienen las relaciones para las velocidades de cambio de cada uno de los ángulos:

$$\omega_e = \frac{2\pi \cdot \dot{\alpha} \cdot (R + L)}{C_{LL}} \quad \text{E. (4.5.3.5)}$$

$$\omega_i = \frac{2\pi \cdot \dot{\alpha} \cdot (R - L)}{C_{LL}} \quad \text{E. (4.5.3.6)}$$

Donde,

- $\omega_e$  = velocidad de giro de la rueda externa
- $\omega_i$  = velocidad de giro de la rueda interna
- $\dot{\alpha}$  = velocidad de giro del robot sobre un punto externo

Como se puede asumir que el giro es constante, se puede reescribir la ecuación como:

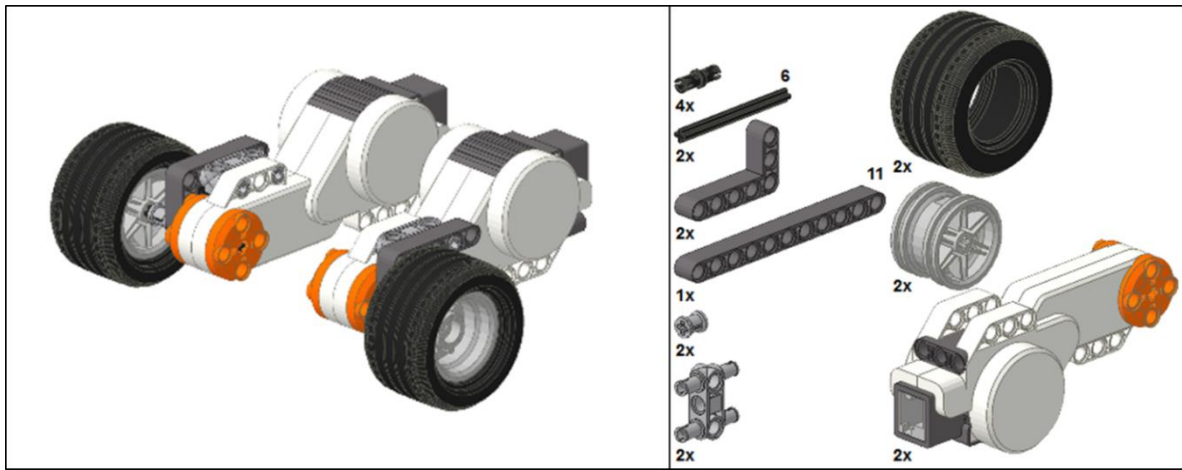
$$\omega_e = \frac{\omega_i \cdot (R + L)}{(R - L)} \quad \text{E. (4.5.3.7)}$$

Con la cual se puede definir la velocidad de giro de la llanta externa en términos de la interna, observando que la primera tiene una mayor magnitud que la segunda.

## **4.6. Módulos del robot**

El robot se construye a partir de 7 módulos independientes con funciones específicas. Los módulos respectivos se describen a continuación.

### 4.6.1. Módulo 1: Locomoción



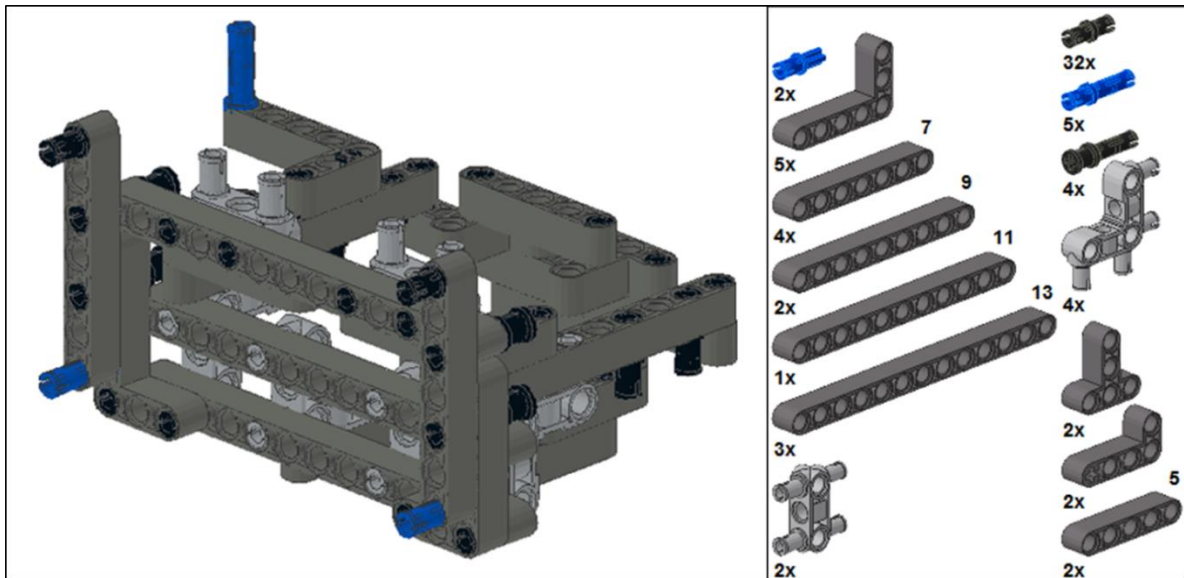
Fuente: Creación propia. Hecho con Hecho con MLCad.

Figura 61. Módulo locomotor, acompañado por su despiece.

El módulo locomoción es el primero que se arma siguiendo la guía de construcción propuesta. Su función principal es permitir el movimiento del robot. Dependiendo de lo que se necesite, el robot avanzará o girará sobre su propio eje. Es el módulo menos rígido de todos.

Está compuesto por 19 piezas, repartidas en 9 tipos diferentes. Este módulo contiene dos servomotores.

## 4.6.2. Módulo 2: Soporte



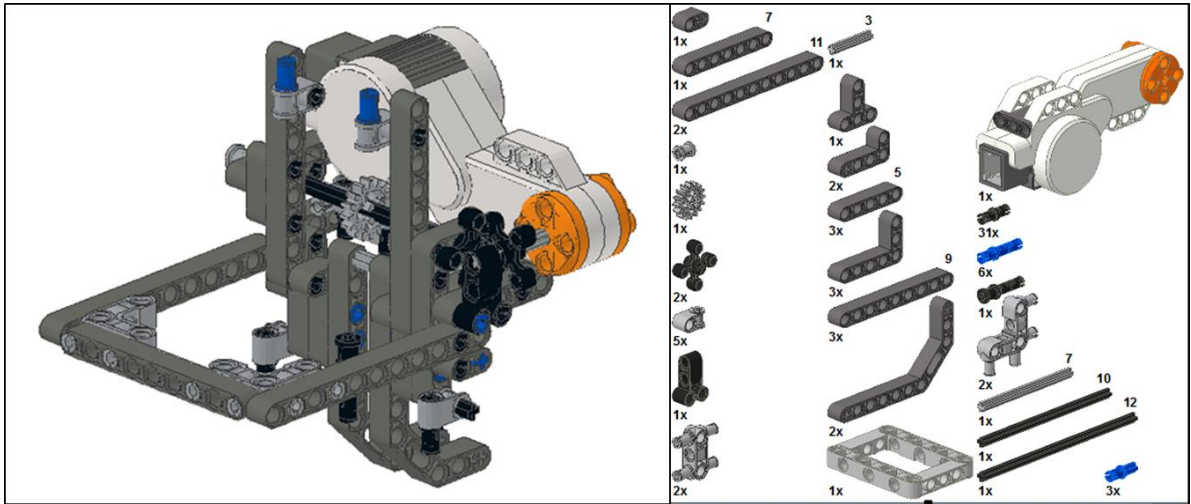
Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft MICad.

Figura 62. Estructura de soporte principal acompañado por su despiece.

El módulo soporte funciona como la estructura de sostén de todo el robot; fue diseñado pensando en darle la mayor rigidez al robot en el menor espacio y con la menor cantidad de piezas posibles. Los demás módulos se conectan con este; por esta razón se sugiere que sea de los primeros módulos en armar. En la guía de construcción se sugiere hacerlo de segundo.

Está compuesto por 70 piezas repartidas en 14 tipos distintos de piezas. No tiene partes móviles.

### 4.6.3. Módulo 3: Control del Instrumento de dibujo



Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft MICad.

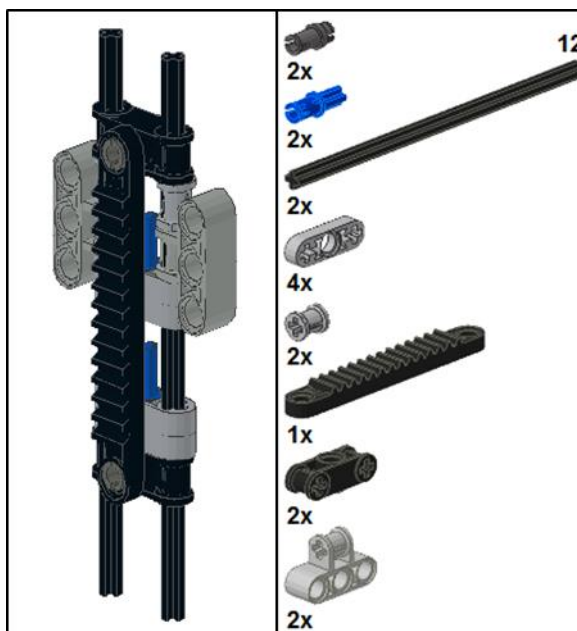
Figura 63. Control del Marcador, acompañado por su despiece.

El módulo control del marcador es uno de los tres módulos encargados del movimiento del marcador. Su función es el movimiento del engrane que conectará con la cremallera del módulo 7, lo cual ocasionará el movimiento ascendente o descendente del marcador.

Se recomienda que sea el tercer módulo por armar. Está compuesto por 79 piezas, repartidas entre 26 tipos diferentes. Cuenta con un servomotor que permite el movimiento del sistema.

#### 4.6.4. Módulo 4: Cremallera

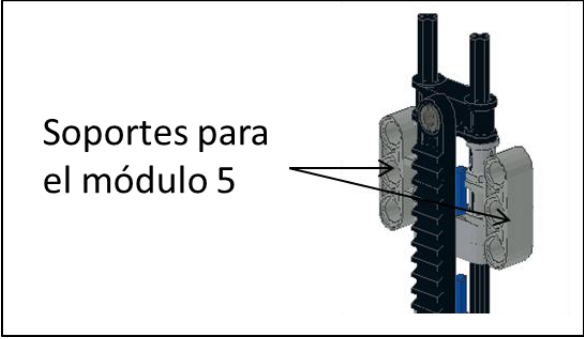
El módulo cremallera es el cuarto en ser armado; permite transmitir el movimiento del engrane hacia el soporte del marcador, módulo 5 (véase Figura 66), de manera que suba y baje según se desee.



Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft MICad.

Figura 64. Cremallera, acompañada por su despiece.

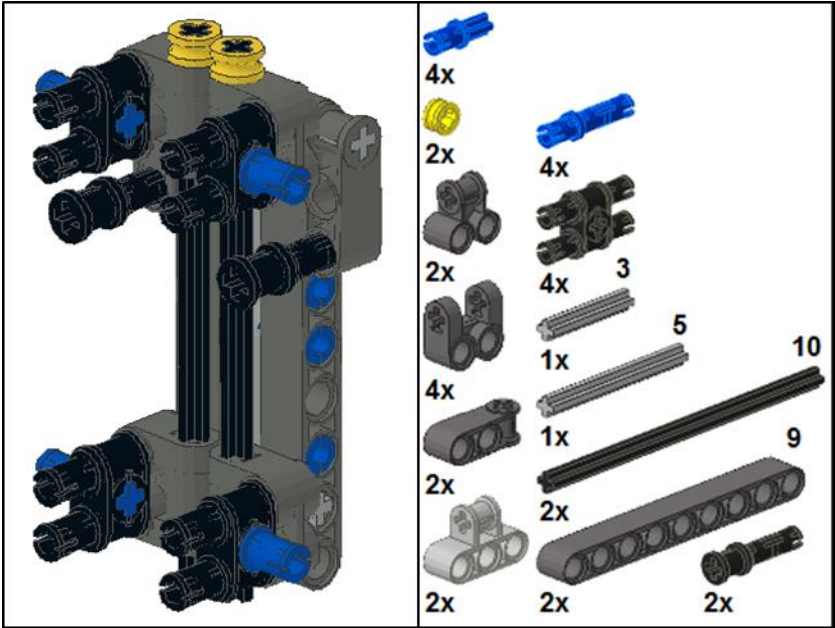
Además cuenta con soportes en los cuales se conecta el módulo 5. Y permite un desacople fácil y rápido, para un montaje más simple del marcador.



Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft MICad.

Figura 65. Soportes para el módulo 5.

**4.6.5. Módulo 5: Soporte del instrumento de dibujo**



Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft MICad.

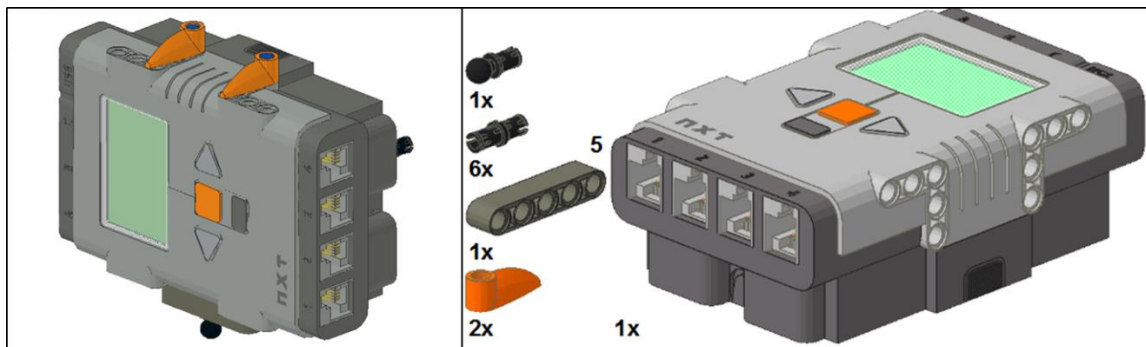
Figura 66. Soporte del instrumento de dibujo, acompañado por su despiece.

El módulo soporte del instrumento de dibujo sujeta el marcador mediante la acción de dos soportes que funcionan mediante bandas de hule. La colocación del marcador se muestra en la sección 4.6.3. Montaje del instrumento de dibujo.

El diseño de este módulo permite la utilización de diferentes instrumentos de dibujo, como lápices, lapiceros o marcadores; son estos últimos los preferidos, pues facilitan el rayado del papel. Está diseñado para ser acoplado y desacoplado del resto del robot con facilidad para así permitir la fácil remoción del instrumento de dibujo.

Este módulo es el quinto en ser armado y está compuesto por 32 piezas, repartidas entre trece tipos diferentes.

#### 4.6.6. Módulo 6: Unidad de control



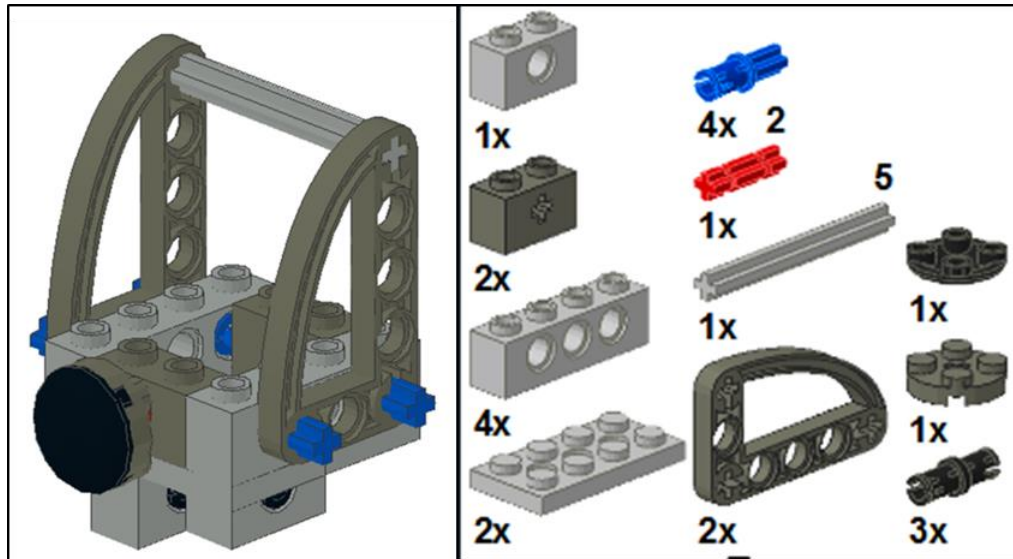
Fuente: Creación propia. Hecho con MICad.

Figura 67. Unidad de control, acompañada por su despiece.

La unidad central de procesamiento del robot controla los movimientos de los servomotores de los módulos 2 y 3. Es el punto de conexión del robot con la PC, para permitir la descarga de los programas de las unidades de aprendizaje.

Está compuesta por 11 piezas repartidas en 5 tipos distintos. No tiene partes móviles.

#### 4.6.7. Módulo 7: Cabina

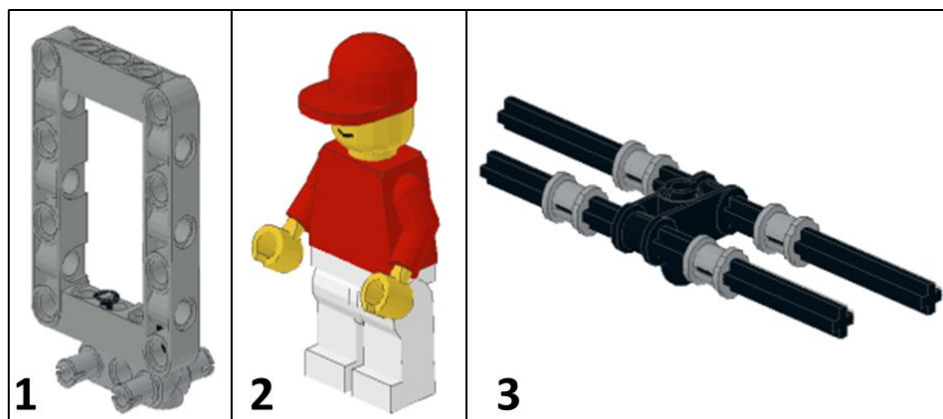


Fuente: Creación propia. Hecho con MICad.

Figura 68. Cabina, acompañada por su despiece.

El módulo cabina cumple una función decorativa, generando la ilusión de que la minifigura LEGO controla el robot desde aquella. Su función es decorativa. Está compuesto por 22 partes, repartidas en 11 tipos diferentes.

### 4.6.8. Accesorios



Fuente: Creación propia. Hecho con MICad

Figura 69. Accesorios

Para su ensamble final, el robot requerirá de las piezas mostradas en la Figura 69. Su colocación exacta se muestra en el manual de construcción. A excepción de la minifigura, todas cumplen con funciones de refuerzo estructural. Son doce piezas repartidas entre 8 tipos diferentes. El accesorio 3 se muestra ensamblado; sin embargo, su instalación se hace armándolo en el lugar de ensamble; este procedimiento se muestra en el manual de construcción que se le entrega al profesor.

## 4.7. Manual de construcción

La creación del modelo 3D del robot dibujante, así como el manual de construcción fueron posibles mediante la utilización de diferentes software dedicados a estas tareas en particular. Para la primera etapa de construcción, se utilizó el software que provee LEGO® con sus sets Mindstorms Educational (ref.

9648), el LEGO Digital Designer (LDD). Este permite una construcción flexible y rápida de un primer prototipo que abarca más de la mitad del diseño deseado.

Luego se utilizó el software gratuito MLCAD<sup>29</sup>, el cual cuenta con una amplia galería de piezas LEGO, muchas de las cuales no están disponibles en las librerías del LDD, además de ser compatible con LDD. Con él fue posible terminar el diseño del modelo 3D de LEGO, así como comenzar el diagramado del manual de construcción.

Finalmente, se recurrió al software gratuito LPUB<sup>30</sup>, con el cual se finalizó el diseño del manual. Este cuenta con una amplia variedad de opciones de personalización y es compatible con LDD y MLCAD.

El manual de construcción suministrado permite la construcción del robot dibujante según la configuración diferencial antes mencionada. En él se presentan las etapas de construcción de 6 módulos diferentes, los cuales luego son integrados para formar el ensamble final del robot.

Cada etapa de construcción indica las piezas necesarias en ese paso, así como el lugar donde deben ser colocadas.

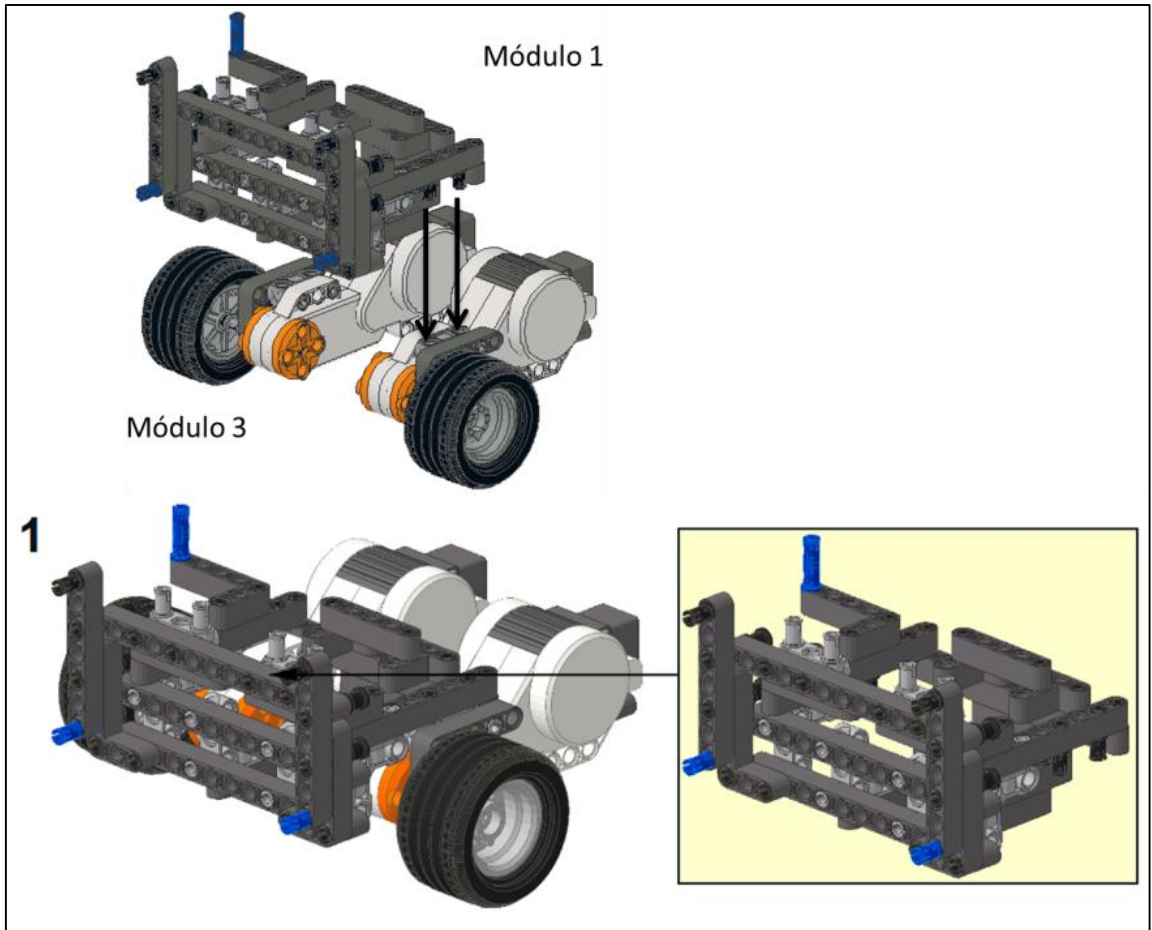
### **4.7.1. Ensamble**

Los diferentes módulos se ensamblan como se muestra de manera esquemática a continuación. Esta sección pretende dar una explicación adicional al manual de construcción que se muestra en el apéndice y no pretende suplantarlos.

---

<sup>29</sup> La versión de MLCAD utilizada fue la 3.4, disponible en <http://mlcad.lm-software.com/>.

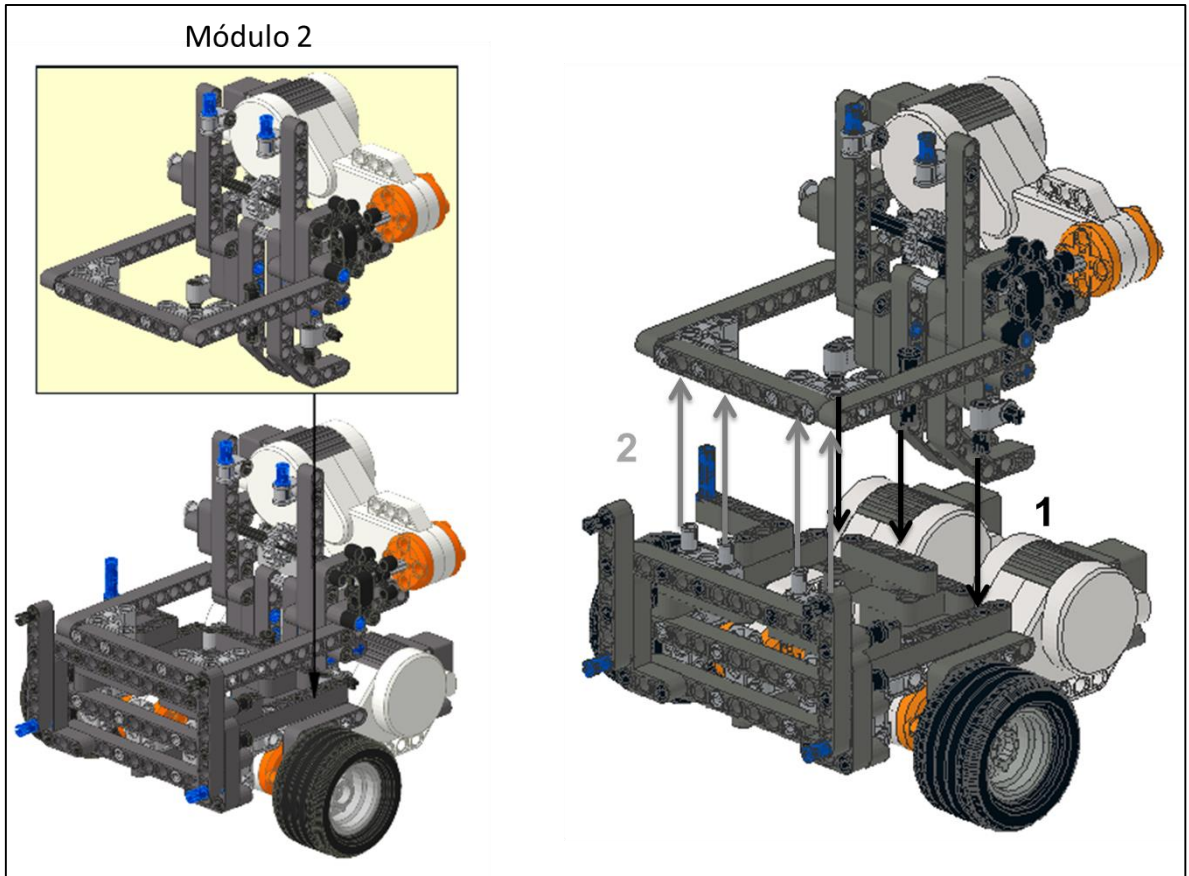
<sup>30</sup> La versión de LPUB utilizada fue la 4.0.0.11 disponible en <http://sourceforge.net/projects/lpub/files/>.



Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft MICad.

Figura 70. Sub-ensamble 1. Ensamble de los módulos 1 y 3.

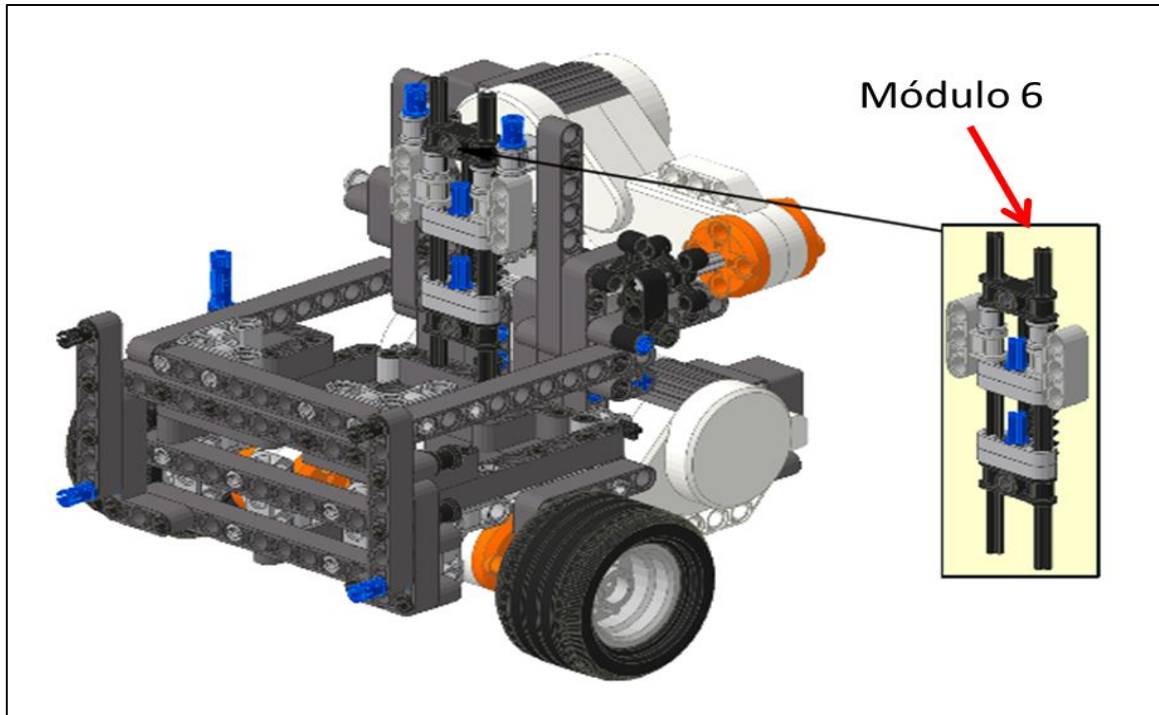
La unión entre el módulo 1 y 3 se obtiene mediante el acople de los cuatro pines negros del módulo 1, con cuatro agujeros ubicados sobre la parte superior del módulo 3. El acople está completo cuando se escucha un sonido similar a un “click”, lo cual indica el acople completo.



Fuente: Creación propia. Hecho con MICad.

Figura 71. Sub-ensamble 2. Colocación del módulo 2.

Posteriormente, el módulo 2 se coloca sobre el sub-ensamble 1, obtenido en la etapa anterior. En este punto es importante que se ensamblen primero los tres pines negros del módulo 2, y luego los cuatro pines grises del sub-ensamble 1 dentro de los orificios del módulo 2.

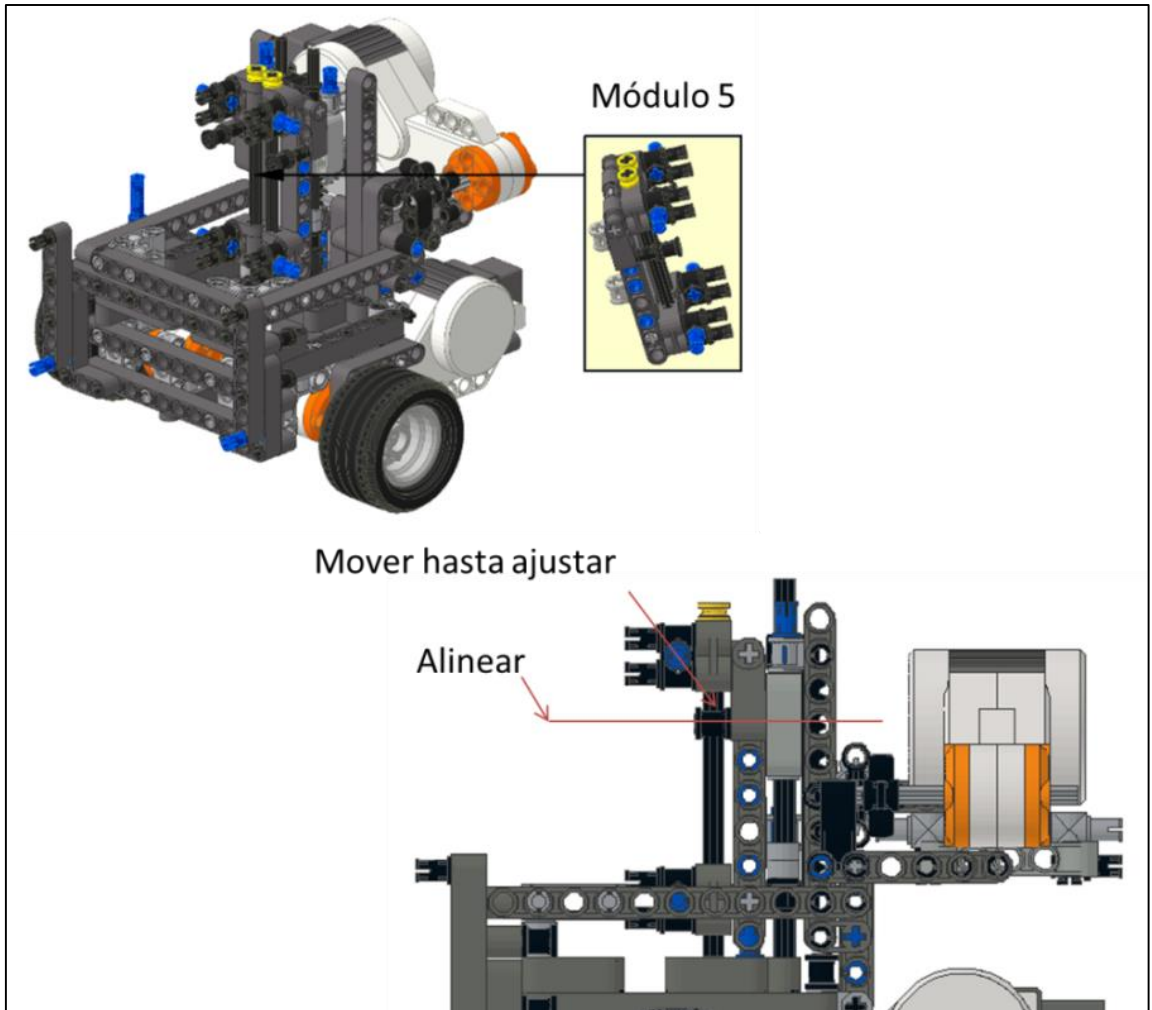


Fuente: Creación propia. Hecho con MICad.

Figura 72. Sub-ensamble 3. Colocación del módulo 6.

La cremallera debe colocarse como se muestra en la Figura 72, cuidando que ella se acople con el engrane del sub-ensamble 2. La parte superior será asegurada en la etapa final del ensamble.

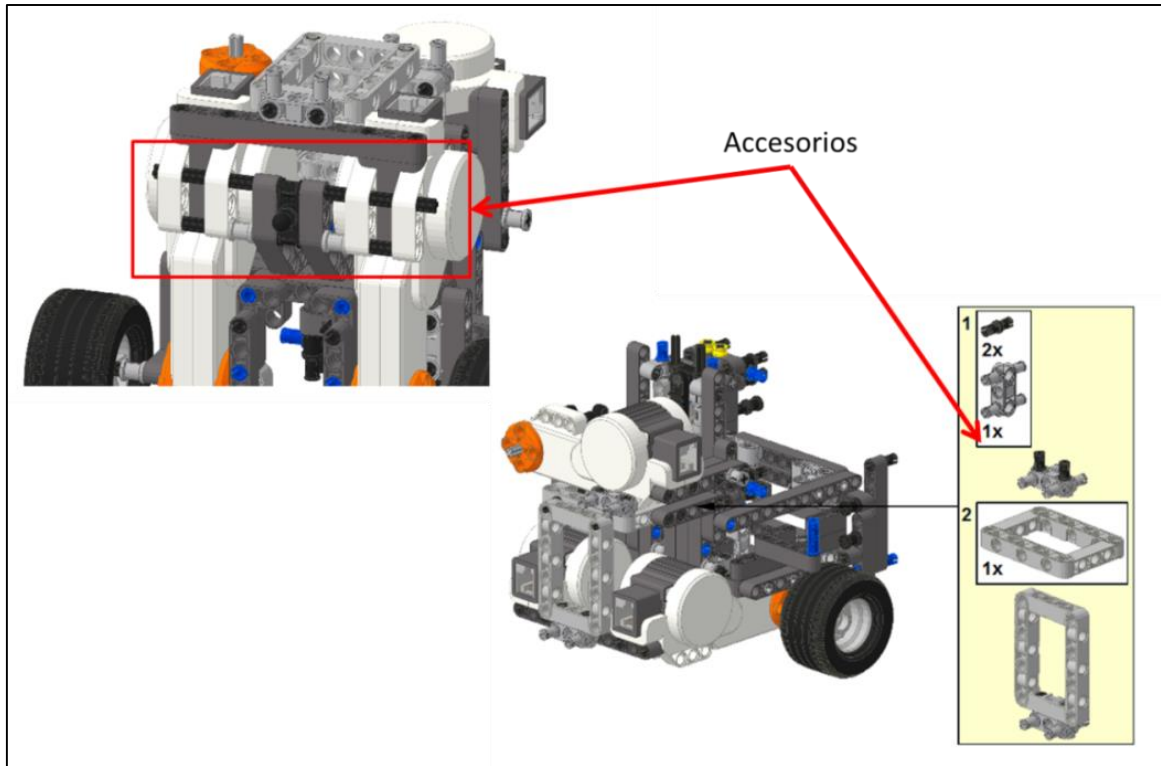
Por otra parte, el módulo 5 está diseñado para tener un acople y desacople sencillo, por lo cual cuenta con dos pines negros largos, los cuales son fáciles de mover para asegurar el módulo como se muestra en la Figura 73. Sub-ensamble 4. Colocación del módulo 5.



Fuente: Creación propia. Hecho con MICad y Microsoft PowerPoint.

Figura 73. Sub-ensamble 4. Colocación del módulo 5.

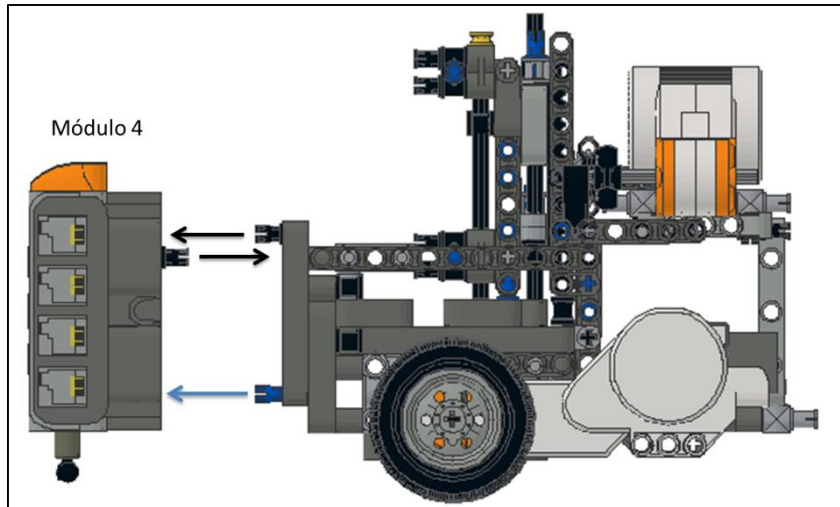
Posteriormente, los accesorios deben ser colocados como se muestra en la Figura 74. En la parte posterior del robot se coloca el accesorio 1 para darle rigidez a la estructura. Como se mencionó con anterioridad, los pasos para colocar el accesorio 2 se muestran en detalle en el Manual de construcción que se encuentra en el Apéndice C: Guía de construcción del robot.



Fuente: Creación propia. Hecho con MICad y Microsoft PowerPoint.

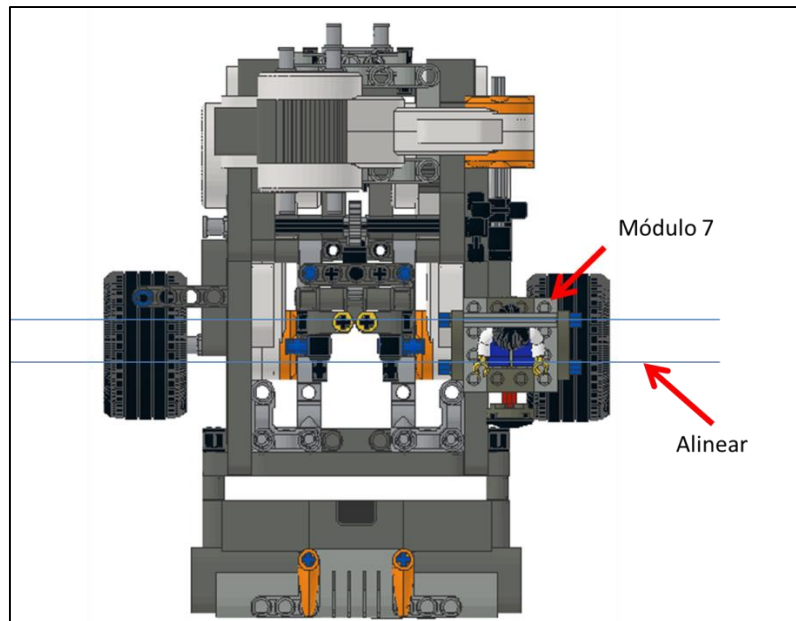
Figura 74. Sub-Ensamble 5. Colocación de los accesorios.

Luego, para colocar el módulo 4, como se muestra en la Figura 75, se debe tener cuidado al alinear los “pines” negros y azules como se muestra. De lo contrario, la altura del módulo será incorrecta y el robot se tambaleará durante el recorrido, lo que genera un trazado incorrecto de las figuras.



Fuente: Creación propia. Hecho con MICad y Microsoft PowerPoint.

Figura 75. Sub-ensamble 6. Colocación del módulo 4



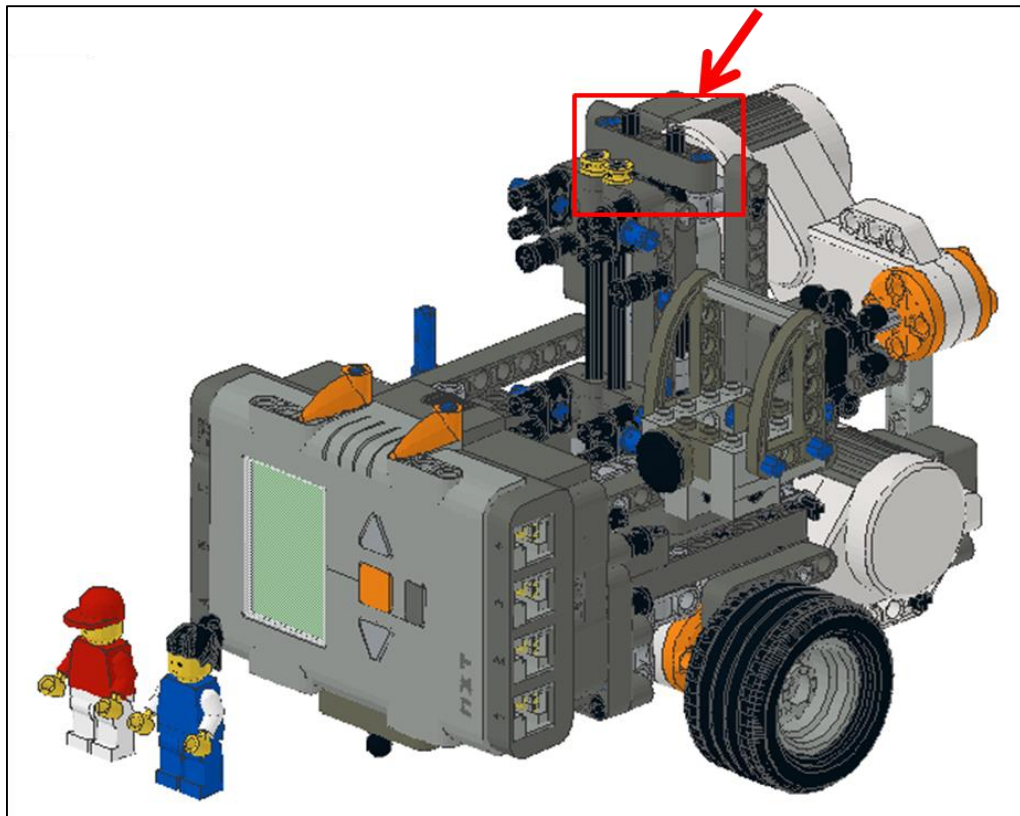
Fuente: Creación propia. Hecho con MICad y Microsoft PowerPoint.

Figura 76. Sub-ensamble 7. Colocación del módulo 7.

La cabina debe colocarse como se muestra en la Figura 76. La alineación no es crítica, pues la función de la cabina es estética y no estructural; sin embargo, se recomienda alinearla de la forma en que se muestra.

Los detalles específicos del ensamble se dan a conocer en los anexos en el Apéndice C. Guía de construcción del robot.

Una vez ensamblado el robot debe verse como se muestra en la siguiente figura.

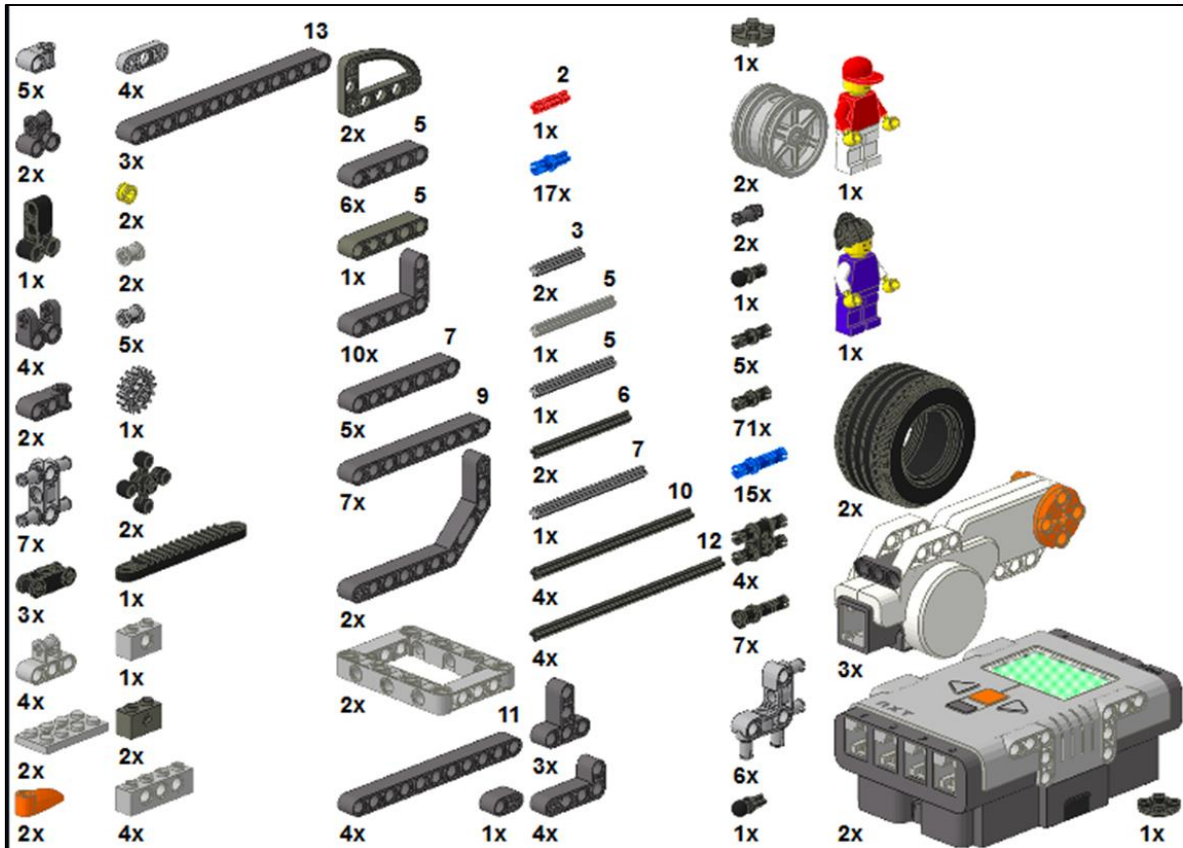


Fuente: Creación propia. Hecho con MICad y Microsoft PowerPoint.

Figura 77. Ensamble final

La flecha roja señala la última pieza en ser colocada, una viga de longitud 5, la cual se encarga de sostener la cremallera durante su movimiento.

Finalmente, un resumen de las piezas utilizadas se muestra en la siguiente figura.



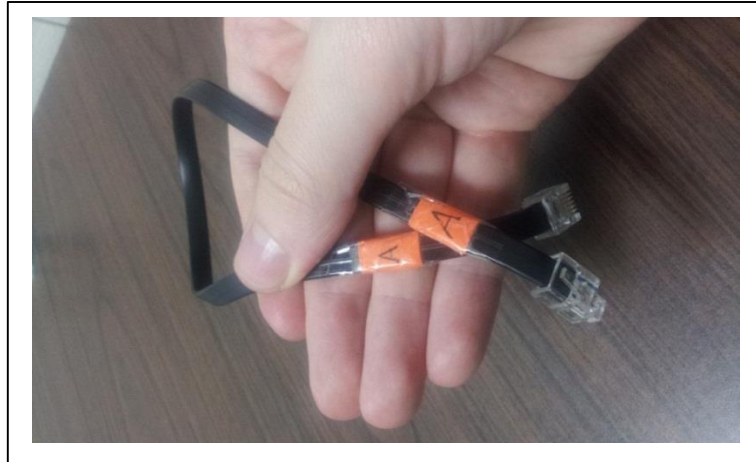
Fuente: Creación propia. Hecho con MICad.

Figura 78. Lista de partes

### 4.7.2. Cableado

El cableado de los motores se debe realizar utilizando los cables provistos por LEGO en los sets. Los puertos de conexión cuentan con una forma específica, por lo cual no es compatible con la mayoría de opciones disponibles en el mercado.

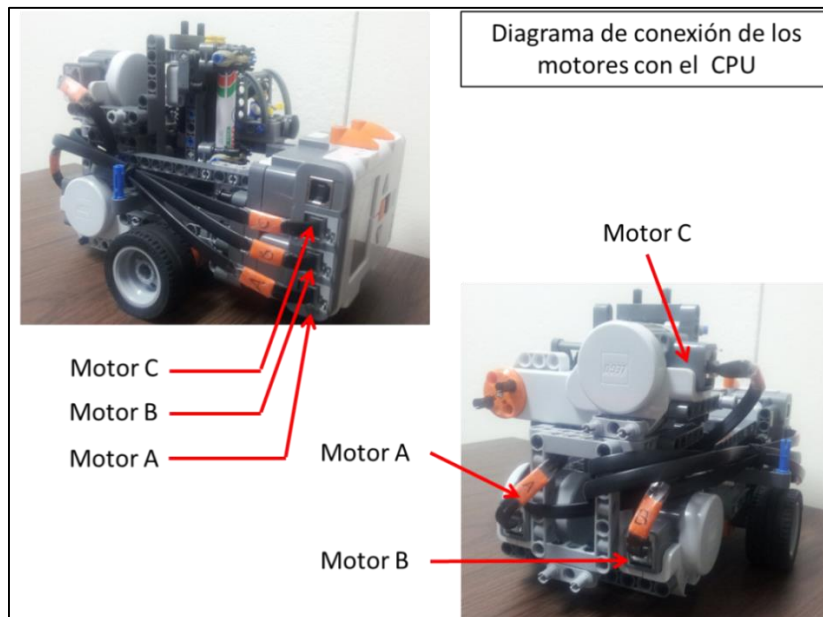
Para un cableado eficiente se recomienda utilizar tres cables de 36 cm de largo cada uno y etiquetarlos como se muestra en la siguiente figura:



Fuente: Creación propia.

Figura 79. Cable etiquetado

La etiqueta indica el puerto al cual será conectado; los motores van conectados en los puertos A, B, C del módulo 4 (CPU).



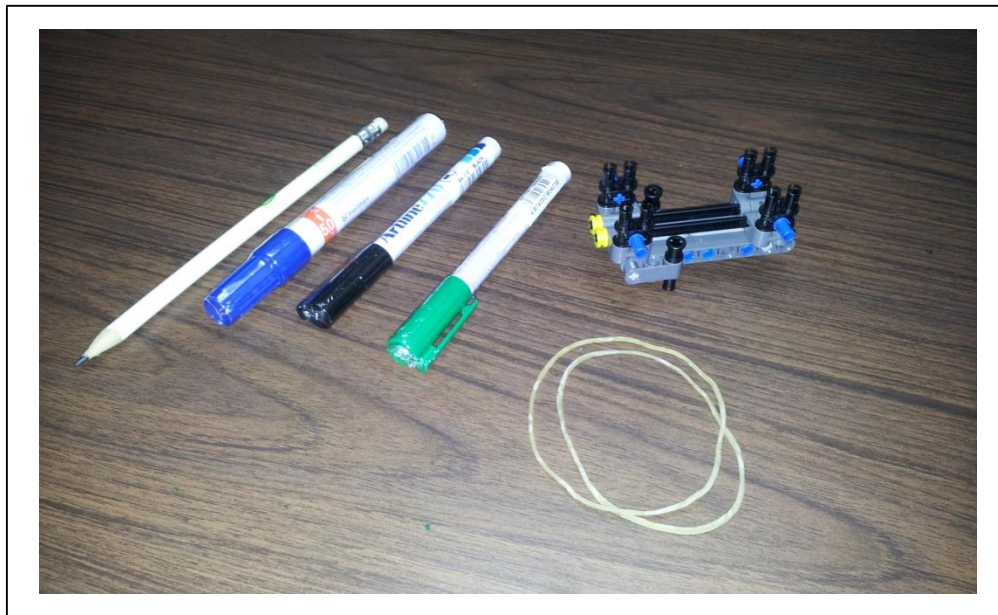
Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft PowerPoint.

Figura 80. Conexión de los motores a los puertos del CPU

Una vez realizado todo el procedimiento presentado en este capítulo, es necesario instalar en el cerebro del robot los programas adecuados para su funcionamiento, además, se debe efectuar el ajuste del comportamiento del robot. Todo esto se explica con detalle en la siguiente sección.

### **4.7.3. Montaje del instrumento de dibujo**

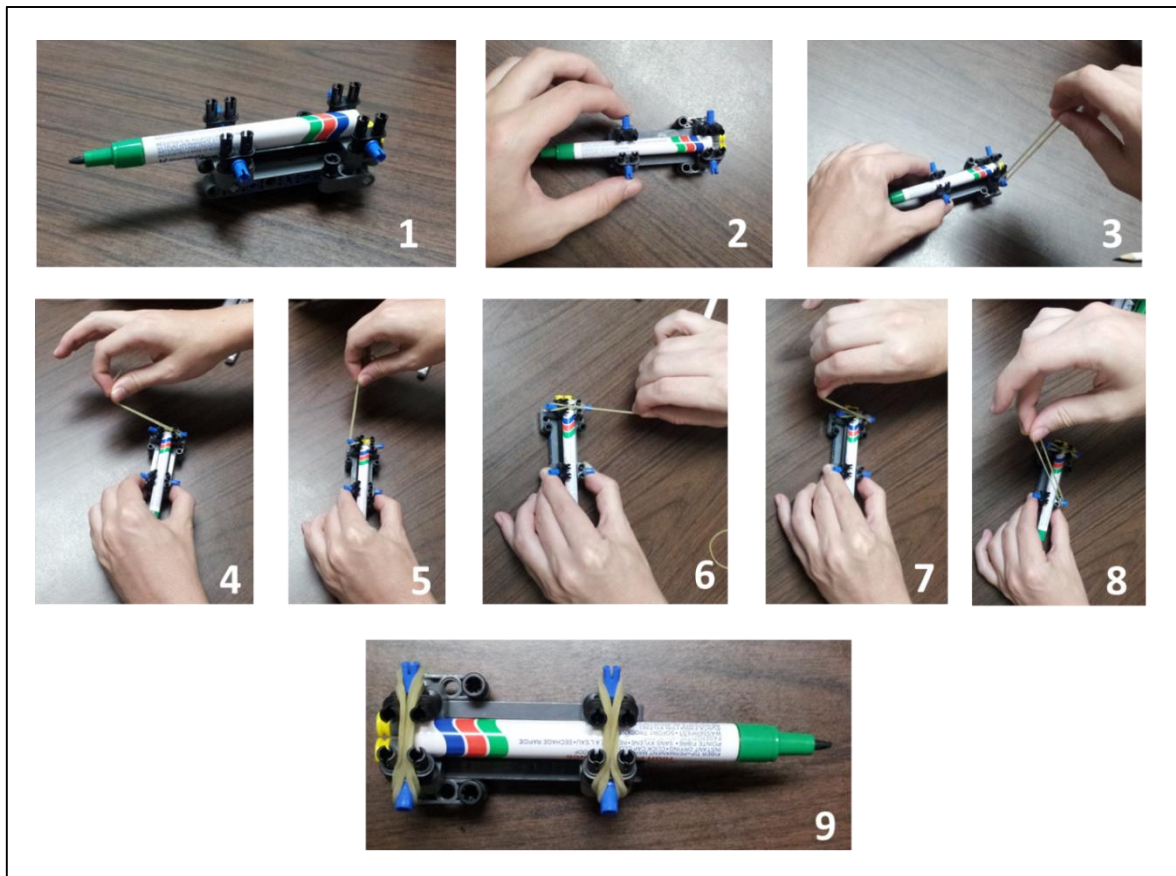
La etapa final del ensamble consiste en montar el instrumento de dibujo en el módulo 5.



Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft PowerPoint.

Figura 81. Materiales para dibujar

Como ya se indicó, es posible utilizar marcadores de diferentes tamaños, lápices, lapiceros y diferentes tipos de instrumentos en el robot. También es necesario contar con dos bandas de hule delgadas, para completar el montaje.



Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft PowerPoint.

Figura 82. Etapas de la instalación del instrumento de dibujo

El montaje del marcador se realiza mediante la siguiente secuencia:

1. Coloque el instrumento de dibujo en medio de las tenazas de color negro, de manera que se apoye firmemente en ambas.
2. Cierre las tenazas con una mano hasta que hagan contacto con el instrumento de dibujo.
3. Mientras sostiene firmemente el módulo con una mano, utilice su otra mano para enganchar una de las bandas de hule alrededor de uno de los pines azules como se muestra.

4. Deslice la banda de hule que está enganchada, en medio de los dos pares de pines negros, hasta que llegue al otro lado donde se ubica el segundo pin azul.
5. Enrolle la banda de hule alrededor del segundo pin azul de manera que quede lista para repetir el paso 4.
6. Repita los pasos 4 y 5 de manera que la banda de hule se enrolle totalmente.
7. Enganche la parte final de la banda de hule al pin azul que tenga más cercano. Asegúrese que toda la banda se encuentre tensa; en caso contrario, vuelva a comenzar.
8. Repita los pasos del 1 al 7 para el otro par de tenazas utilizando una nueva banda de hule.
9. Asegúrese de que ambas bandas se hayan enrollado como se muestra en la Figura 82.

Nota: La altura del instrumento de dibujo con respecto al papel donde dibujará, varía según cada caso. Por tanto se recomienda repetir el proceso, para variar dicha altura, si se observa que la línea del dibujo no es la deseada.

## **4.8. Discusión**

La elaboración del robot desde la etapa de diseño hasta su construcción final es el objetivo del presente capítulo. Para lograrlo se inició con una descripción de los requisitos técnicos y funcionales que debía cumplir, para luego, mediante un cuadro comparativo, determinar la propuesta capaz de satisfacer tales criterios.

La propuesta seleccionada, un robot con ruedas de configuración diferencial hecho con LEGO Mindstorms, fue escogida por su simpleza de construcción, versatilidad para dibujar, su diseño simple, capacidad para crear una interfaz de uso versátil, entre otras virtudes. Luego se explican sus características esenciales,

junto con la descripción de su esquema cinemático. Mediante este último se explica el comportamiento matemático del robot en el espacio y se procede a plantear las ecuaciones necesarias para describir su movimiento en línea recta, en una circunferencia o en parte de ella y sobre su propio eje. Estas serán utilizadas en el capítulo 5 durante la programación del software de control.

Para lograr la construcción del diseño seleccionado, se optó por una construcción modular, en la cual se construye el robot por etapas o módulos, lo que favorece una construcción sencilla por parte del profesor. El manual de construcción completo se adjunta en los apéndices.

Los módulos diseñados son 8: locomoción, soporte, control del instrumento de dibujo, cremallera, soporte del instrumento de dibujo, unidad de control, cabina y accesorios. Para cada uno de ellos se adjuntan las piezas utilizadas, cantidad y tipo; además se da una breve explicación de su funcionalidad.

Posteriormente se explica mediante diagramas, cómo lograr el ensamble final del robot, el cableado de los motores con la unidad de control y, finalmente, cómo se coloca el instrumento de dibujo seleccionado y cómo cambiarlo según sea necesario.

En este punto el robot se encuentra armado y listo para ser programado y puesto en operación; ambas etapas serán descritas en el siguiente capítulo.

## **Capítulo 5.**

# **Diseño e implementación del software de control del Robot “GeoBot”**

---

Para controlar al robot durante la ejecución de las actividades, se diseñó una aplicación de software, denominada GeoBot, para las necesidades del alumno y el profesor. Se tomó en cuenta diferentes opciones para la programación del mismo, para finalmente seleccionar al lenguaje JAVA, por ser gratuito, aplicable al LEGO Mindstorms, y de fácil comprensión.

En este capítulo se explican los requisitos de diseño del software, además de las diferentes propuestas sugeridas para cumplir dichos objetivos.

Se describirá a continuación el software diseñado, capaz de controlar el cerebro Mindstorms® del robot desde una computadora portátil común. Se esquematizan las secciones del mismo y su función, las variables y algoritmos necesarios para su creación. Además se indica el proceso necesario para instalarlo en cada cerebro Mindstorms.

Por último se detalla el ajuste del comportamiento del robot que debe realizar el usuario, para asegurarse que funcione conforme a lo deseado.

### **5.1. Requisitos del diseño del Software**

En esta etapa se definieron una serie de requisitos técnicos y de uso. Estos se plantearon tomando en cuenta que tanto un niño como un adulto serán usuarios del mismo.

El software debe:

- Tener una interfaz intuitiva para el usuario, con imágenes claras, y que contenga solo la información relevante.
- Ejecutar todas las actividades planeadas en las guías de trabajo para el estudiante.
- Permitir la configuración por parte del profesor, de los parámetros relevantes del robot.
- Ejecutarse en cualquier sistema operativo para computadora personal.

## **5.2. Propuestas de diseño del software**

### **5.2.1. Soluciones**

Ante los criterios expuestos se propusieron dos soluciones:

- Programar el robot dibujante GeoBot mediante el software propietario provisto por LEGO en los sets LEGO Mindstorms seleccionados para la construcción del mismo.
- Programar el robot dibujante GeoBot mediante software de código abierto LeJOS<sup>31</sup>, el cual funciona mediante la plataforma Java.

Las ventajas y desventajas de cada opción se muestran en la siguiente tabla:

---

<sup>31</sup> El software se puede obtener gratis en <http://lejos.sourceforge.net/>

Cuadro 12. Tabla comparativa de ventajas y desventajas de usar software propietario LEGO versus software de código abierto

	Ventajas	Desventajas
<b>Software propietario LEGO Mindstorms NXT 2.0</b>	Fácil de utilizar.	Es poco flexible para diseñar interfaces específicas a la operación del robot dibujante
	Requiere conocimientos de programación muy básicos	No permite el diseño de una interfaz que la utilice y entienda un niño.
	Cuenta con garantía y soporte técnico del fabricante	No viene incluido en los sets LEGO utilizados en la construcción del robot, hay que comprarlo por aparte
<b>Software de código abierto Lejos</b>	Permite la creación de una interfaz específica para controlar un robot dibujante de configuración diferencial.	Requiere ser instalado por una persona experta
	Permite la creación de una interfaz de fácil uso por un niño	Requiere apoyo técnico en caso de errores
	Es gratis, no requiere licencia	Requiere conocimiento intermedio en programación
	Cuenta con extensas librerías de proyectos y soporte relacionados con robótica y LEGO	
	Permite la programación orientada a objetos	

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Excel.

### 5.2.2. Propuesta seleccionada

Con base en los criterios antes expuestos, se tomó la decisión de realizar el diseño e implementación del software de control “GeoBot” mediante el software Lejos. Es muy importante que el programa que van a utilizar los alumnos sea de fácil uso, y que contenga sólo los elementos relevantes a cada actividad. Este punto en particular es muy difícil de obtener utilizando la solución LEGO propietaria (oficial), como se determinó luego de varias pruebas.

Por otra parte, mediante el software Lejos fue posible desarrollar un programa orientado a las necesidades de la guía del estudiante. Además la manipulación del

mismo es gráfica e intuitiva, lo cual no fue posible de lograr al utilizar el programa oficial LEGO.

### 5.3. Diseño del comportamiento externo (Manual de usuario del software)

La interfaz del software de control del robot se describe a continuación. Se inicia en la pantalla principal, en la cual se muestran las diferentes opciones disponibles, siendo posible seleccionar el tipo de contenido que se desea utilizar: líneas, ángulos, polígonos y circunferencia. Además es posible variar algunos de los parámetros en la opción “configuración”.

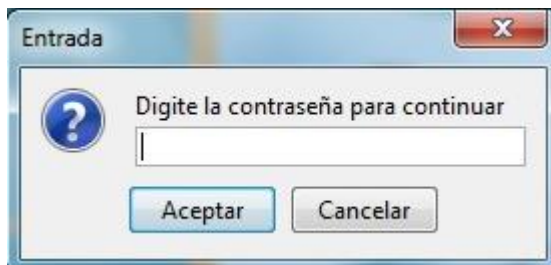


Fuente: Creación propia. Hecho con Eclipse.

Figura 83. Menú principal de la interfaz.

Una vez seleccionada la opción deseada, se le pide al usuario que introduzca la contraseña adecuada. Este paso se consideró necesario, pues como el usuario de la aplicación será el estudiante, principalmente, es necesario restringir su acceso a

los demás contenidos. El profesor se encuentra en control del acceso a cada contenido, las contraseñas para cada sección son equivalentes al nombre de esta, omitiendo las mayúsculas y los acentos.



Fuente: Creación propia. Hecho con Eclipse.

Figura 84. Pantalla de acceso mediante contraseña.

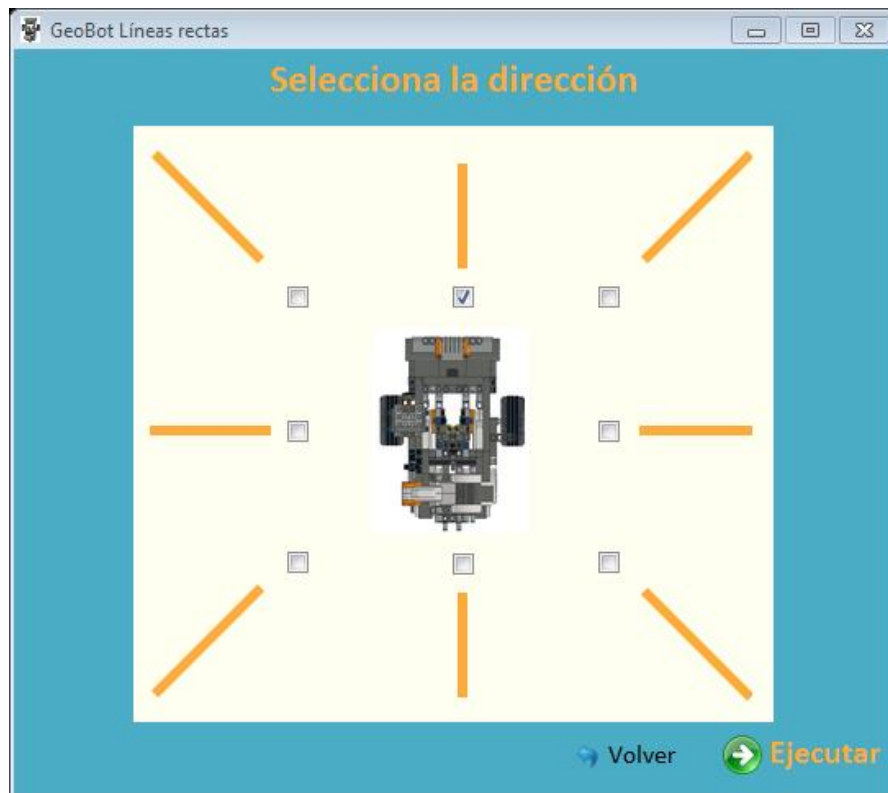
El menú de líneas da acceso a una pantalla posterior, como se muestra en la Figura 85. En ella se observa que los contenidos para desarrollar son dos, líneas rectas o líneas curvas.



Fuente: Creación propia. Hecho con Eclipse.

Figura 85. Menú de selección del tipo de línea.

Si se desea optar por el tipo de línea recta, el menú que aparece es el indicado en la siguiente figura:

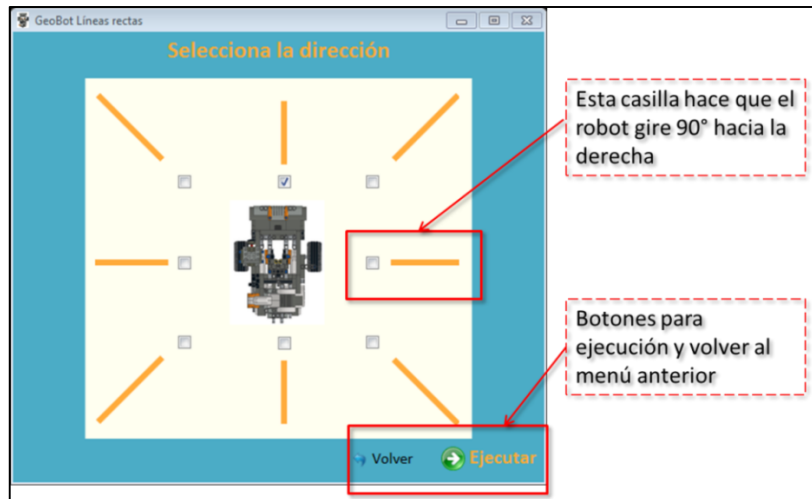


Fuente: Creación propia. Hecho con Eclipse.

Figura 86. Menú de selección de líneas rectas.

En este menú, se pueden seleccionar entre 8 direcciones diferentes para el trazo de las líneas rectas; cada uno tiene una longitud de 10 cm. La figura de la pantalla muestra la orientación en el espacio del robot, de manera que si se desea un giro de 90 grados hacia la derecha, es necesario hacer "click" en la casilla que se ubica a la derecha del robot, como se muestra en la Figura 87.

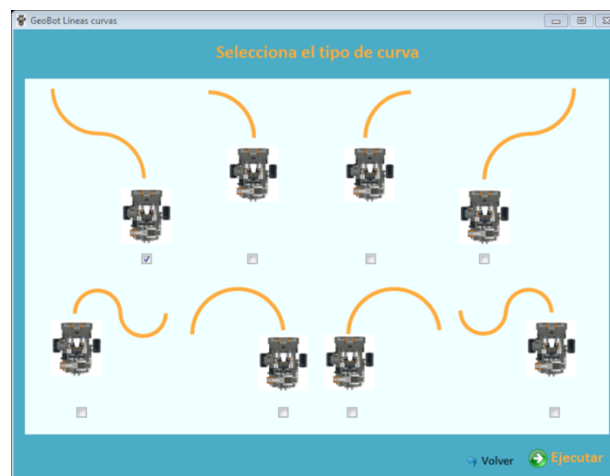
Una vez seleccionado el giro deseado, es necesario hacer "click" en la opción ejecutar, para que el robot comience a ejecutar la acción.



Fuente: Creación propia. Hecho con Eclipse y Microsoft PowerPoint.

Figura 87. Giro del robot.

Si desea volver al menú anterior, puede seleccionar la opción “volver”, ubicada en cada menú del software en la esquina inferior derecha. En el caso de las líneas rectas, el menú lo devolverá a la pantalla mostrada en la Figura 85. En dicha pantalla si se hace “click” en la opción “Líneas curvas”, se accede al menú mostrado a continuación:

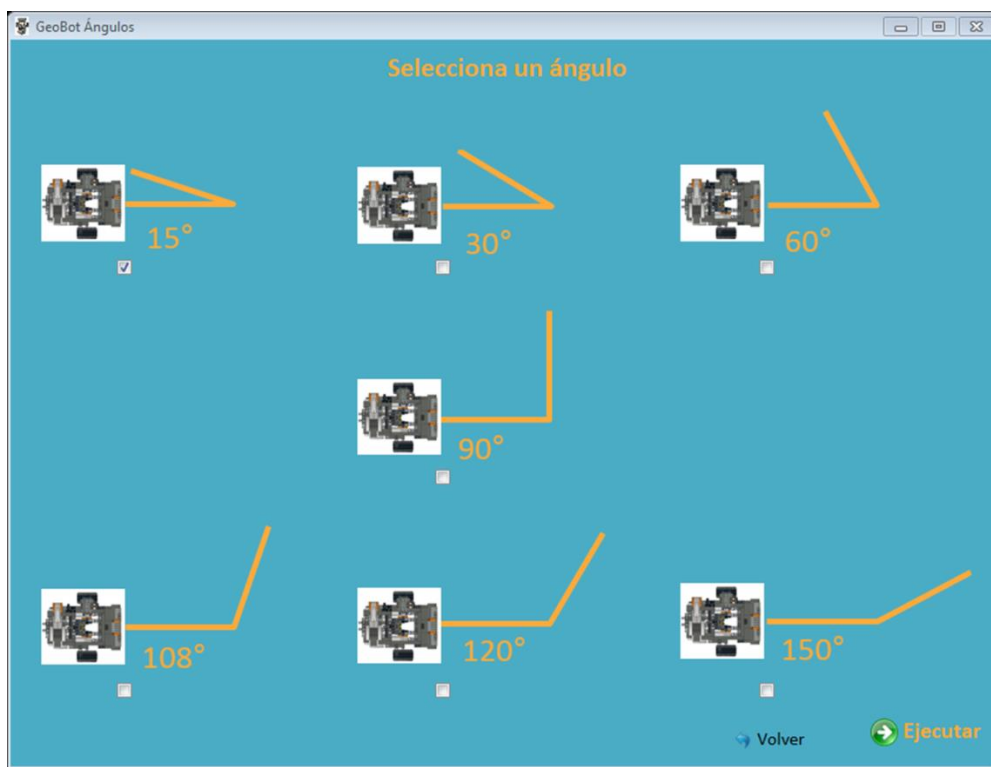


Fuente: Creación propia. Hecho con Eclipse.

Figura 88. Menú de líneas curvas.

Como se observa, existen 4 tipos diferentes de líneas curvas, cada una con dos tipos de giro distintos. El usuario seleccionará la deseada y podrá ejecutar la acción o volver al menú anterior, de la misma forma que con el menú de líneas rectas. Desde esta pantalla, si se oprime dos veces el botón volver, se regresará al menú principal.

Nuevamente en el menú principal, mostrado en la Figura 83, si se selecciona la opción “ángulos”, se irá al menú de contraseña mostrado en la Figura 84, y posteriormente al menú mostrado a continuación:

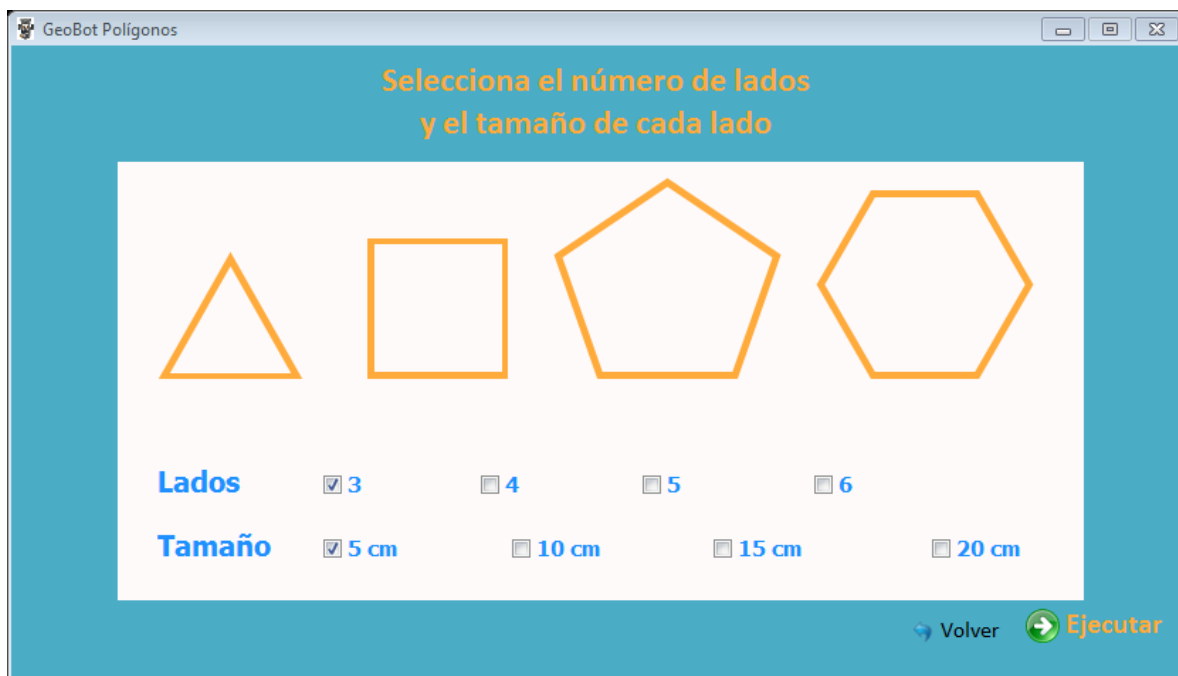


Fuente: Creación propia. Hecho con Eclipse.

Figura 89. Menú de selección de ángulos

Como se observa, se encuentran disponibles 7 ángulos seleccionables. Para el que se desee seleccionar, se hace “click” debajo de la figura y se selecciona “ejecutar” como en los casos anteriores.

De vuelta al menú principal, si se selecciona la opción “Polígonos” se le pedirá ingresar la contraseña. Una vez ingresada se desplegará el menú de Polígonos mostrado en la Figura 90.



Fuente: Creación propia. Hecho con Eclipse.

Figura 90. Menú de polígonos.

En este caso, es posible seleccionar la cantidad de lados del polígono y el tamaño de cada uno. Las opciones van desde un triángulo hasta un hexágono.

En el caso de los círculos, las opciones se muestran en la Figura 91, existen 4 tipos distintos de círculos para escoger.



Fuente: Creación propia. Hecho con Eclipse.

Figura 91. Menú de círculos.

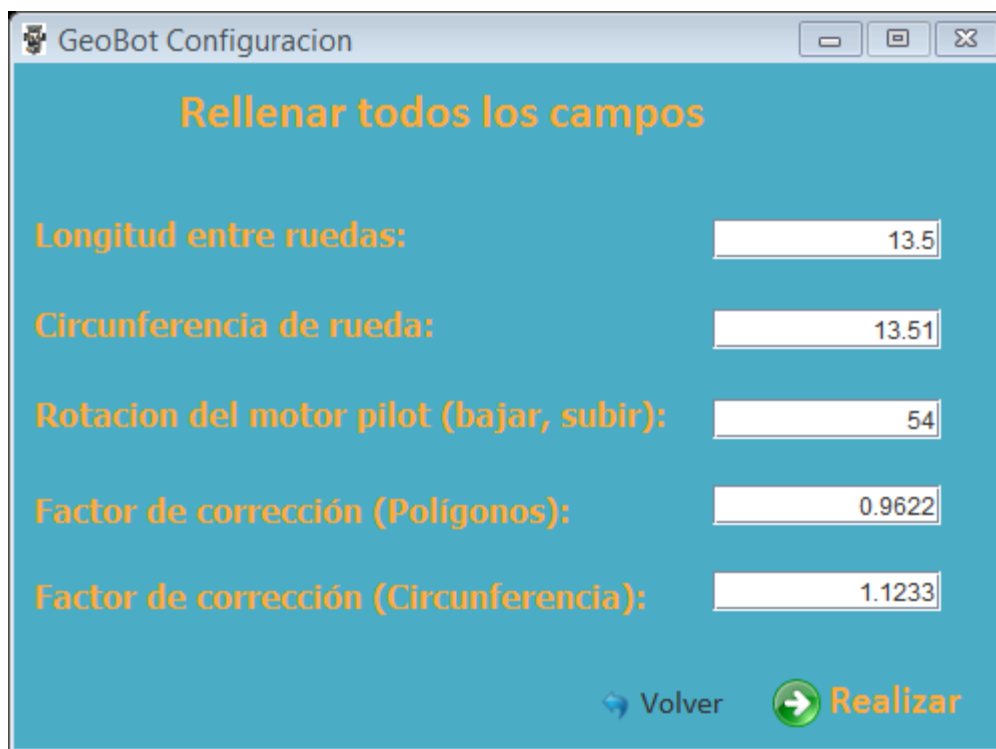
Por último, en el menú de configuración existen varios parámetros que se pueden ajustar en caso de que el robot sufra una modificación geométrica, como se observa en la Figura 93. Es posible modificar la longitud entre ruedas, la circunferencia de la rueda, y el ángulo que recorre el motor del marcador para bajarlo o subirlo hacia el papel.

Es necesario especificar un valor para cada variable cada vez que se realiza un cambio; si no el software mostrará la pantalla de error mostrada en la Figura 92. Una vez agregados todos los datos necesarios, se debe seleccionar “Realizar”, y en caso de no desear un cambio, se debe hacer “click” en “volver”.



Fuente: Creación propia. Hecho con Eclipse.

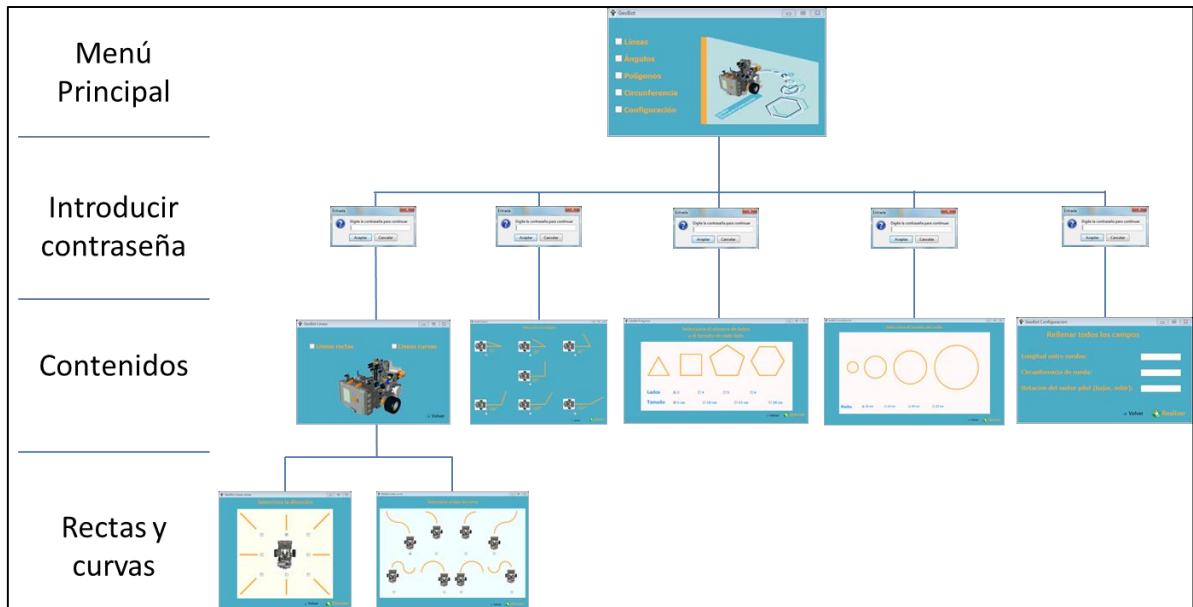
Figura 92. Mensaje de error en el menú de configuración



Fuente: Creación propia. Hecho con Eclipse.

Figura 93. Menú de configuración.

Finalmente, se muestra un diagrama de los diferentes menús del software de forma jerárquica en la Figura 94. En ella se puede ver claramente la relación entre las distintas etapas del programa y los requisitos de ingreso para cada una.



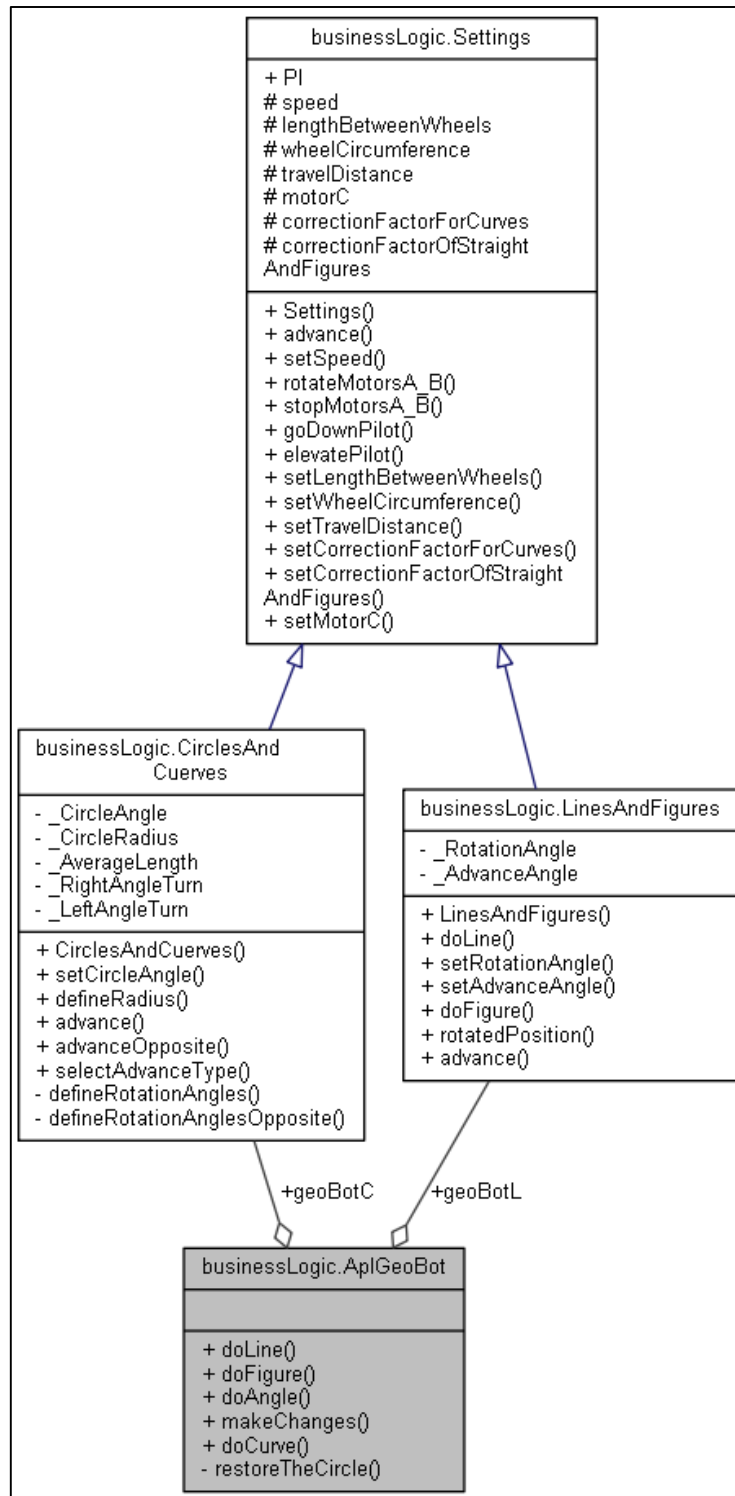
Fuente: Creación propia. Hecho con Eclipse y Microsoft PowerPoint.

Figura 94. Diagrama de jerarquía de los menús de la interfaz.

## 5.4. Definición del comportamiento interno

### 5.4.1. Diagrama de clases

A continuación se muestran la relación de las diferentes clases dentro del programa:



Fuente: Creación propia. Hecho con Doxygen.

Figura 95. Diagrama de clases del programa GeoBot.

En la figura anterior se observa la relación entre las diferentes clases pertenecientes al programa “GeoBot.jar”

Se muestran las clases lógicas que están incluidas en el paquete “businessLogic”, las cuales son:

- “Settings”
- “CirclesAndCurves”
- “LinesAndFigures”

Las anteriores clases son controladas por la clase “AplGeoBot”, para facilitar el manejo del robot en el programa. Lo anterior es una ventaja ya que de no existir la clase “AplGeoBot”, funciona como un control intermediario entre las clases de la interfaz de usuario y las clases que controlan el robot.

Se definieron las clases “CirclesAndCurves” y “LinesAndFigures”, para separar las dos grandes funciones que realiza el robot. Dentro de la primera se incluyen los arcos de círculo, líneas curvas y círculos completos, mientras que en la segunda se incluyen las líneas rectas, ángulos y figuras.

Por último, dentro de la programación se incluyeron factores de corrección para cada una de las geometrías realizadas, lo cual facilita el trabajo de ajuste del comportamiento del robot una vez armado<sup>32</sup>. Para una mayor comprensión del programa y su funcionalidad se puede consultar la documentación del programa adjunta a este documento

#### **5.4.2. Implementación de fórmulas en los métodos**

En esta sección se detalla brevemente la forma en que varias de las fórmulas discutidas están presentes dentro del código del robot.

---

<sup>32</sup>El ajuste del comportamiento del robot se discute en la sección 5.7, página 165.

En primera instancia se detalla la aplicación de una variante de la fórmula 4.5.1.1., en la cual se ajusta el ángulo que rotará cada uno de los motores para avanzar en una línea recta.

```
// Avanza una distancia determinada. -> FORMULA
/** (non-Javadoc)
 * @see LogicaDeNegocios.Settings#avanzar()
 */
@Override // Se redefine el método de la clase madre.
public void advance() {
    setAdvanceAngle(((int) Math.round(travelDistance * 360 / wheelCircumference))); // Aplicación de la fórmula ...
    rotateMotorsA_B(_AdvanceAngle, _AdvanceAngle); // Los motores giran según el resultado de la fórmula anterior.
    stopMotorsA_B();
}
```

Fuente: Creación propia. Hecho con Eclipse.

Figura 96. Código que define el ángulo de avance.

Posteriormente se muestra el código capaz de asignar el ángulo de rotación del robot sobre su propio eje. Nótese que se incluye un factor de corrección al ángulo calculado mediante la ecuación 4.5.2.2.

```
// Fija el ángulo de rotación y se calibra para que el margen de error sea menor.
/**
 * Sets the rotation angle.
 *
 * @param pRotationAngle the new rotation angle
 */
public void setRotationAngle(int pRotationAngle) {
    float angAux;
    angAux = (float) (pRotationAngle * lengthBetweenWheels * PI / wheelCircumference); // Aplicación de la fórmula ...
    angAux = angAux * (float) correctionFactorOfStraightAndFigures; // Agrega factor de corrección.
    _RotationAngle = Math.round(angAux); // Redondea el resultado
}
}
```

Fuente: Creación propia. Hecho con Eclipse.

Figura 97. Código que define el ángulo de rotación.

Finalmente, se muestra la aplicación de las fórmulas de giro sobre un punto exterior, basado en las ecuaciones 4.5.3.3 y 4.5.3.4. Para esto se definieron dos posibles sentidos de giro, uno con la llanta izquierda ubicada del lado interno del círculo que se dibuja y otro como la cara externa.

```

// Define el radio del círculo
/**
 * Define radius.
 */
public void defineRadius() {
    float aux = travelDistance * (float) correctionFactorForCurves; // Aplica el factor de corrección a la distancia de viaje (radio del círculo).
    _circleRadius = aux;
}

// Define los ángulos de giros de cada rueda para que gire hacia la izquierda (izq como interna). -> FORMULA
/**
 * Define rotation angles.
 */
private void defineRotationAngles() {
    _rightAngleTurn = (int) (2 * PI * _circleAngle * (_circleRadius - _averageLength) / (wheelCircumference));
    _leftAngleTurn = (int) (2 * PI * _circleAngle * (_circleRadius + _averageLength) / (wheelCircumference));
}

// Define los ángulos de giros de cada rueda para que gire hacia la derecha (izq como externa).
/**
 * Define rotation angles opposite.
 */
private void defineRotationAnglesOpposite() {
    _rightAngleTurn = (int) (2 * PI * _circleAngle * (_circleRadius + _averageLength) / (wheelCircumference));
    _leftAngleTurn = (int) (2 * PI * _circleAngle * (_circleRadius - _averageLength) / (wheelCircumference));
}

```

Fuente: Creación propia. Hecho con Eclipse.

Figura 98. Código que define el ángulo de rotación de cada motor para dibujar un círculo.

## 5.5. Procedimiento de instalación<sup>33</sup>

### 5.5.1. Requisitos técnicos

El programa de control de GeoBot necesita:

- Sistema operativo: Windows XP, service pack 3, o posterior
- La última versión de Java JDK para 32 bits, el cual puede ser descargado desde

<http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/downloads/index.html>

- Adaptador Bluetooth con la última versión de sus drivers instalada.

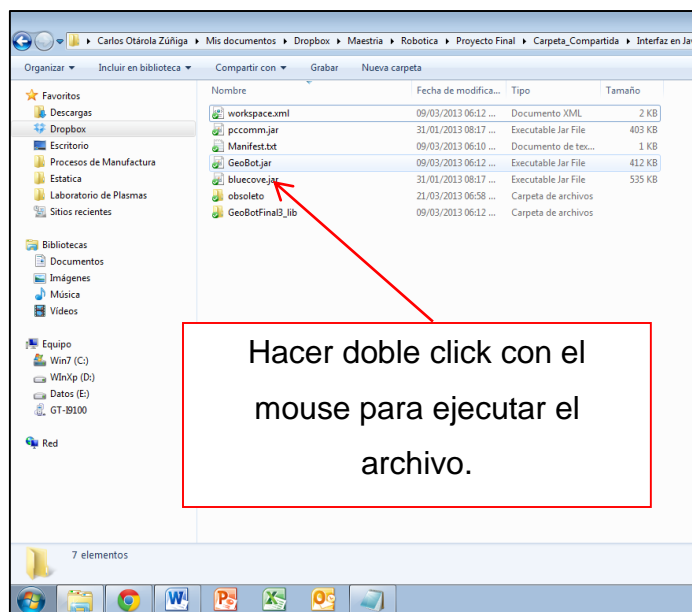
<sup>33</sup> Los detalles de la instalación se explican en el Apéndice G.

## 5.5.2. Instalación de LEJOS en el cerebro del robot<sup>34</sup>

Para que el robot opere conforme a lo diseñado, se debe cambiar el sistema operativo que viene de fábrica, por el software de código abierto Lejos. Los detalles se explican a profundidad en el Apéndice G.

## 5.6. Ejecución del programa

El programa no necesita ser instalado; es un archivo ejecutable que puede correr desde la carpeta que contenga el archivo “GeoBot.jar”



Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft PowerPoint.

Figura 99. Selección del archivo para ejecutar

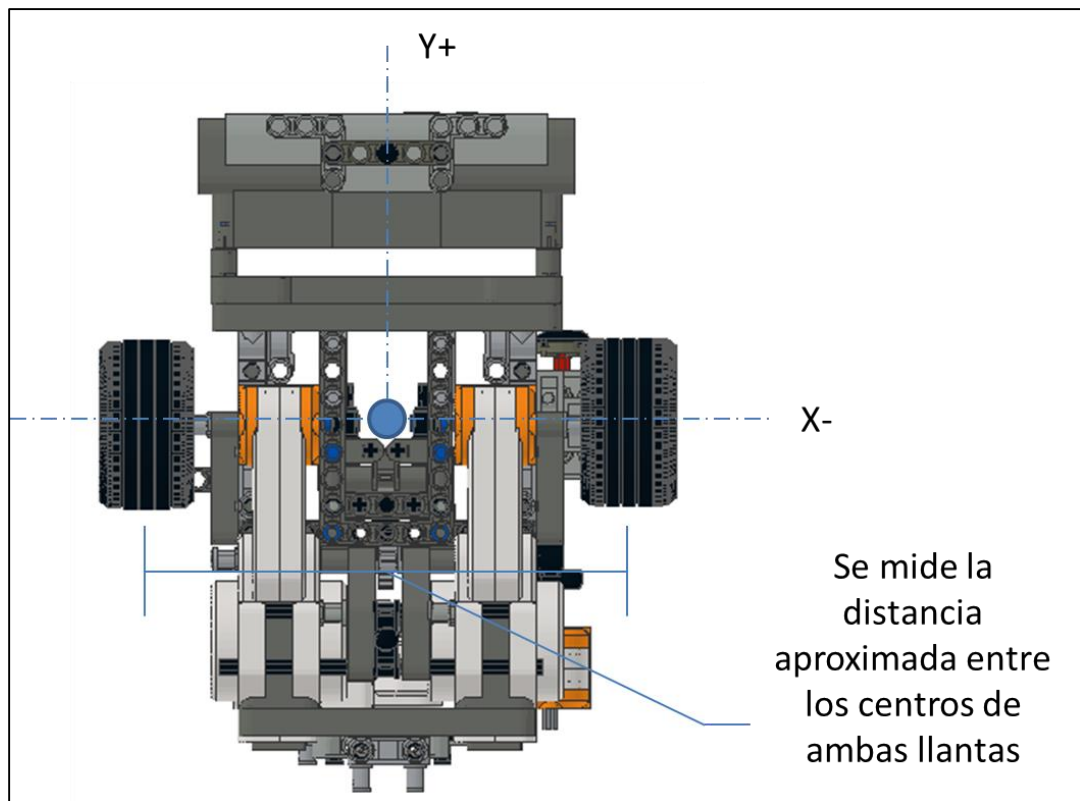
<sup>34</sup> Todos los pasos de la instalación se encuentran en el sitio web <http://lejos.sourceforge.net/nxt/nxj/tutorial/Preliminaries/GettingStartedWindows.htm>

## 5.7. Ajuste del comportamiento del robot

El ajuste del comportamiento del robot se inicia mediante la selección de los parámetros geométricos adecuados, en el menú de configuración del software de control. Tal como lo muestra la Figura 93 en la página 154, el software necesita conocer:

- La longitud entre ruedas del robot

Este parámetro se explica adecuadamente observando la siguiente figura



Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft PowerPoint.

Figura 100. Interpretación correcta de la distancia entre ruedas.

La distancia se mide entre los centros de ambas ruedas, de manera aproximada.

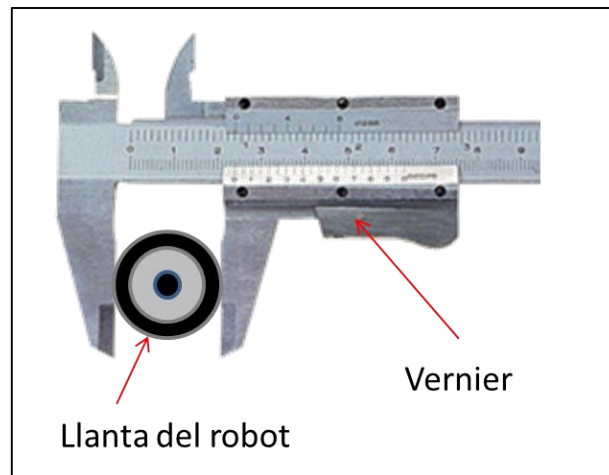
- La circunferencia de cada rueda

Utilizando la ecuación 4.5.1.2.b, que define la longitud de la circunferencia en términos del diámetro de la llanta, se calcula la primera,

$$C_{LL} = \pi \cdot D_{LL}$$

E.(4.5.1.2.b)  
(repetida)

Para lograrlo se mide mediante un vernier el diámetro como se muestra,



Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft PowerPoint.

Figura 101. Medida del diámetro de la llanta.

- El factor de corrección para los polígonos<sup>35</sup>

El cálculo preciso de este factor se explica con detalle en el capítulo 6. Para efectos del presente capítulo, se indica un factor de corrección ubicado en el siguiente rango 0.9596 – 1.0267. Para efectos de la programación se seleccionó la mediana de los datos mostrados en el Cuadro 26, ya que está ubicado en el centro del rango obtenido. Por tanto, el factor de corrección seleccionado fue 0.9622.

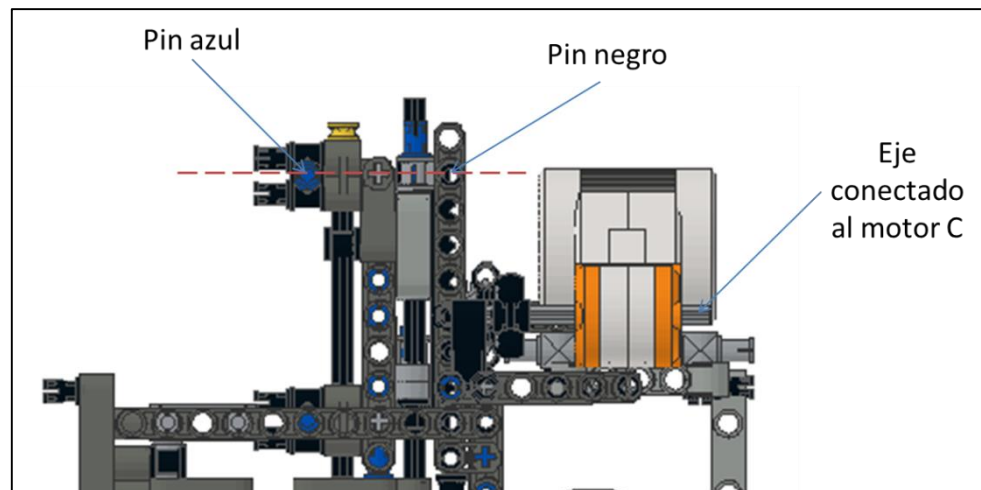
<sup>35</sup> El factor de corrección de polígonos está aplicado sobre el cálculo de los ángulos internos del mismo. Por tanto también funciona como un factor de corrección de ángulos.

## El factor de corrección para la circunferencia

Como en el caso anterior, el factor de corrección está entre un rango de valores como lo muestra el Cuadro 35. En este caso, el rango es 1.1179 – 1.1420. Y la mediana es igual al factor de corrección, y su valor es 1.1233.

- La rotación del motor.

Este valor depende completamente de la posición del instrumento de dibujo en el módulo 5, por lo que su valor debe calcularse empíricamente. En el caso del presente, se le asignó un valor de 54 grados, lo cual corresponde al ángulo que debe rotar el motor C desde la posición superior, la cual se muestra en la figura siguiente, hasta la posición inferior (cuando el instrumento de dibujo toca el papel).



Fuente: Creación propia. Hecho con MLCad y Microsoft PowerPoint.

Figura 102. Definición de posición superior para el instrumento de dibujo.

La posición superior se logra cuando el “pin azul” y el “pin negro” están alineados. El usuario debe asegurarse de que antes de comenzar a trabajar el módulo 5 se encuentre en posición superior, rotando manualmente el eje del motor C. Luego debe verificar que el instrumento de dibujo toque el

papel, rotando de manera inversa el motor C hasta que esto ocurra. No se debe mover manualmente el motor C si el robot se encuentra prendido.

Una vez obtenidos dichos datos, se introducen en el menú mostrado en la Figura 93, mostrada en la página 154.

## **5.8. Discusión**

En este capítulo se presentó el diseño del software de control del robot. Se tomaron en cuenta para su desarrollo, las necesidades de los niños que cursan primer grado y tercer grado de escuela. El programa contiene imágenes claras y solamente aquella información relevante para su ejecución; además cuenta con un menú para que el usuario configure los parámetros geométricos y de ajuste del comportamiento del robot.

El diseño del programa de control, además de contar con todas las características anteriores, fue creado mediante la plataforma de código abierto Eclipse, utilizando el lenguaje de programación Java, incluyendo las librerías de Lejos. Estas últimas son las que permiten hacer la conexión directa entre el lenguaje Java y los periféricos, motores, sensores y cerebro, provistos en los sets de construcción LEGO Mindstorms.

Además se presenta el funcionamiento esperado del software; para esto se explica cómo funciona cada pantalla y los diferentes botones que se muestran en cada una. De igual manera se explica brevemente el funcionamiento interno del programa, mediante un diagrama de clases, el cual muestra las diferentes relaciones existentes entre los componentes del programa. Se ejemplifica el uso dentro del programa, de las fórmulas matemáticas mostradas en el capítulo 4.

Por otra parte se explica la forma correcta de ajustar el comportamiento del robot mediante el software de control. El procedimiento para obtener los factores de corrección se detalla en el Apéndice E, al igual que el ajuste.

Finalmente se explica el proceso para la instalación del software en una PC con sistema operativo Windows XP o superior, junto con los demás requisitos técnicos para su funcionamiento. El procedimiento de instalación del software LEJOS NXJ en el cerebro Mindstorms se muestra en el Apéndice G.

# Capítulo 6.

## Ensayos de Prueba

---

En este capítulo se describen las pruebas realizadas tanto para el robot como para la aplicación de software que lo manipula. Para el primero, se diseñaron una serie de tareas que permiten probar la funcionalidad y robustez de todos sus componentes, además de obtener resultados que proporcionan información referente a la confiabilidad y precisión del mismo.

En cuanto al software, se realizaron las pruebas que permiten validar cualidades como: Correctitud, Confiabilidad y Robustez. En este sentido, se diseñó una serie de tareas que se planifican desde la herramienta y se ejecutan en el robot verificando adicionalmente la comunicación entre ambos.

Además, se realizó una presentación a docentes de primaria de las actividades y guías construidas para obtener sus reacciones en cuanto a una posible aplicación de dichas actividades en sus aulas de trabajo. Se realizó un plan piloto con un estudiante de segundo grado, con el fin de observar su trabajo en las actividades y detectar áreas de mejora del robot y la guía del estudiante.

### 6.1. Prueba de funcionamiento del robot

Una vez completada la construcción del aparato, y realizadas algunas pruebas básicas, se diseñaron tres tareas específicas para verificar tanto su funcionalidad como la robustez. Estas tres tareas están asociadas al funcionamiento natural del vehículo y constan de:

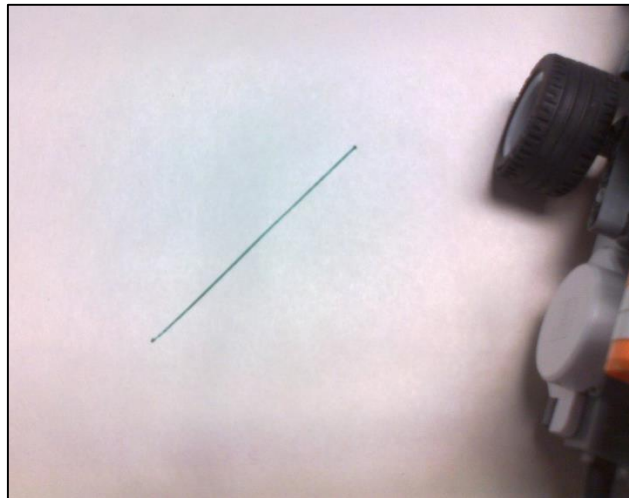
- Dibujar una línea recta de una distancia asignada.

- Girar un ángulo asignado sobre su propio eje.
- Dibujar una circunferencia de un radio asignado.

Para verificar que el robot pudiera realizar los movimientos mencionados anteriormente, se realizó la programación en Java utilizando el editor Eclipse.

### 6.1.1. Línea recta

Se ejecutaron las acciones programadas en eclipse, las cuales enviaron órdenes a los motores del robot, para obtener como resultado una línea recta cuya longitud se aproxima a la seleccionada (5, 10, 15 o 20 centímetros). La siguiente imagen muestra el resultado de solicitarle al robot dibujar una línea recta.



Fuente: Creación Propia.

Figura 103. Línea recta hecha con el robot.

Con el objetivo de analizar si la longitud de la línea dibujada por el robot es la que se le indicó, se tomó una muestra de 30 medidas de las líneas rectas dibujadas por el robot para cada una de las longitudes de 5, 10, 15 y 20 centímetros; luego

se realizó un análisis estadístico utilizando el programa Minitab y se obtuvieron los siguientes resultados:

Cuadro 13. Medias y desviaciones estándar para líneas rectas<sup>36</sup>.  
Tamaño de muestra  $n = 30$ .

Tamaño de Línea	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm
<b>Media (<math>\mu</math>)</b>	5,0003	9,9033	14,827	19,565
<b>Desviación Estándar (<math>\sigma</math>)</b>	0,0634	0,0842	0,085	0,062

Fuente: Creación propia. . Hecho con Microsoft Word.

En el Cuadro 13 se puede observar que las medias para cada uno de los tamaños de líneas se encuentra muy cercano al valor deseado y también se muestran las desviaciones estándar para cada caso.

Cuadro 14. Prueba de normalidad para líneas rectas<sup>37</sup>. Tamaño de muestra  $n = 30$ .

Tamaño de Línea	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm
<b>Hipótesis</b>	H0: Los datos son normales			
<b>Valor de P</b>	0,400	0,668	0,160	0,294
<b>Condición de normalidad</b>	$P > 0,05$ por lo tanto no se puede rechazar la hipótesis de que los datos sigan una distribución normal			

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

<sup>36</sup> El cuadro con las medidas tomadas para las líneas de 5, 10, 15 y 20 cm, se encuentran en el Apéndice E: Datos y Análisis Estadístico.

<sup>37</sup> Información tomada del análisis estadístico realizado con Minitab; se encuentra en el Apéndice E: Datos y análisis estadístico.

En el Cuadro 14 se muestran los valores de  $p$  para las pruebas de normalidad de Anderson-Darling. En todos los casos estos valores son mayores que 0,05; por lo tanto no se puede rechazar la hipótesis de que los datos sigan una distribución normal. Por tal razón se pueden afirmar los siguientes intervalos de confianza.

Cuadro 15. Intervalos de confianza de 95% para la media y para la desviación estandar en las líneas rectas<sup>38</sup>. Tamaño de muestra  $n = 30$ .

Tamaño de Línea	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm
Intervalo para la media	] 4.9766 , 5.0240 [	] 9.8719 , 9.9348 [	] 14.795 , 14.858 [	] 19.542 , 19.588 [
Intervalo para la desviación estándar	] 0.0505 , 0.0853 [	] 0.0670 , 0.1131 [	] 0.067 , 0.114 [	] 0.049 , 0.083 [

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

La información del Cuadro 15 asegura que con el 95% de confianza, las medias y la desviaciones estándar para cada tipo de líneas rectas dibujadas por el robot, se encuentran en los intervalos mencionados.

<sup>38</sup> Información tomada del análisis estadístico realizado con Minitab; se encuentra en el Apéndice E: Datos y análisis estadístico.

Cuadro 16. Intervalos de tolerancia de 95% para las medidas de las líneas rectas<sup>39</sup>. Tamaño de muestra n = 30.

Tamaño de Línea	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm
Intervalo de tolerancia	] 4.838 , 5.166 [	] 9.688 , 10.118 [	] 14.610 , 15.043 [	] 19.407 , 19.722 [

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

Con la información del Cuadro 16 , se puede asegurar con 95% de confianza que las medidas de las líneas futuras dibujadas por el robot se van a encontrar dentro de los intervalos mencionados.

Con los datos anteriores se calculan factores de corrección para buscar mejorar los valores obtenidos en las longitudes de las líneas dibujadas; con esto optimizar los intervalos de confianza para las medias y desviaciones estándar y los intervalos de tolerancia para las medidas de las líneas. Los factores se muestran a continuación:

Cuadro 17. Factores de corrección para líneas rectas. Tamaño de muestra n = 30.

Tamaño de Línea (TL)	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm
Media ( $\mu$ )	5,0003	9,9033	14,827	19,565
Factor de corrección ( $\frac{TL}{\mu}$ )	0,9999	1,0098	1,0117	1,0222
Media de factores	1,0109			
Mediana de factores	1,0107			

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

<sup>39</sup> Información tomada del análisis estadístico realizado con Minitab; se encuentra en el Apéndice E: Datos y análisis estadístico.

Se observa que cuando la media es un valor mayor al esperado, el factor de corrección es menor que 1 y lo que busca es que el motor gire menos de lo indicado para que las ruedas avancen menos y así lograr una medida más cercana a la buscada.

Pero en los casos en que las medias dan un valor menor al que se espera, el factor de corrección es mayor que 1, con el fin de que el motor gire más, las ruedas avancen más y así lograr una medida más cercana a la buscada.

En este caso se quiere buscar un solo factor para las cuatro medidas y se cuenta con dos opciones: la media de los factores y la mediana de los factores. Se optó por la opción de la mediana por ser una medida con igual cantidad de datos menores y mayores a ella.

Nuevamente se realizó la toma de datos (medidas de las líneas rectas dibujadas por el robot) y se realiza el análisis estadístico con el programa Minitab; a continuación se muestran los resultados.

Cuadro 18. Medias y desviaciones estándar para líneas rectas con factor de corrección<sup>40</sup>. Tamaño de muestra n = 30.

Tamaño de Línea	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm
<b>Medía( <math>\mu</math> )</b>	5,1077	10,016	14,935	19,714
<b>Desviación Estándar( <math>\sigma</math> )</b>	0,0533	0,058	0,064	0,045

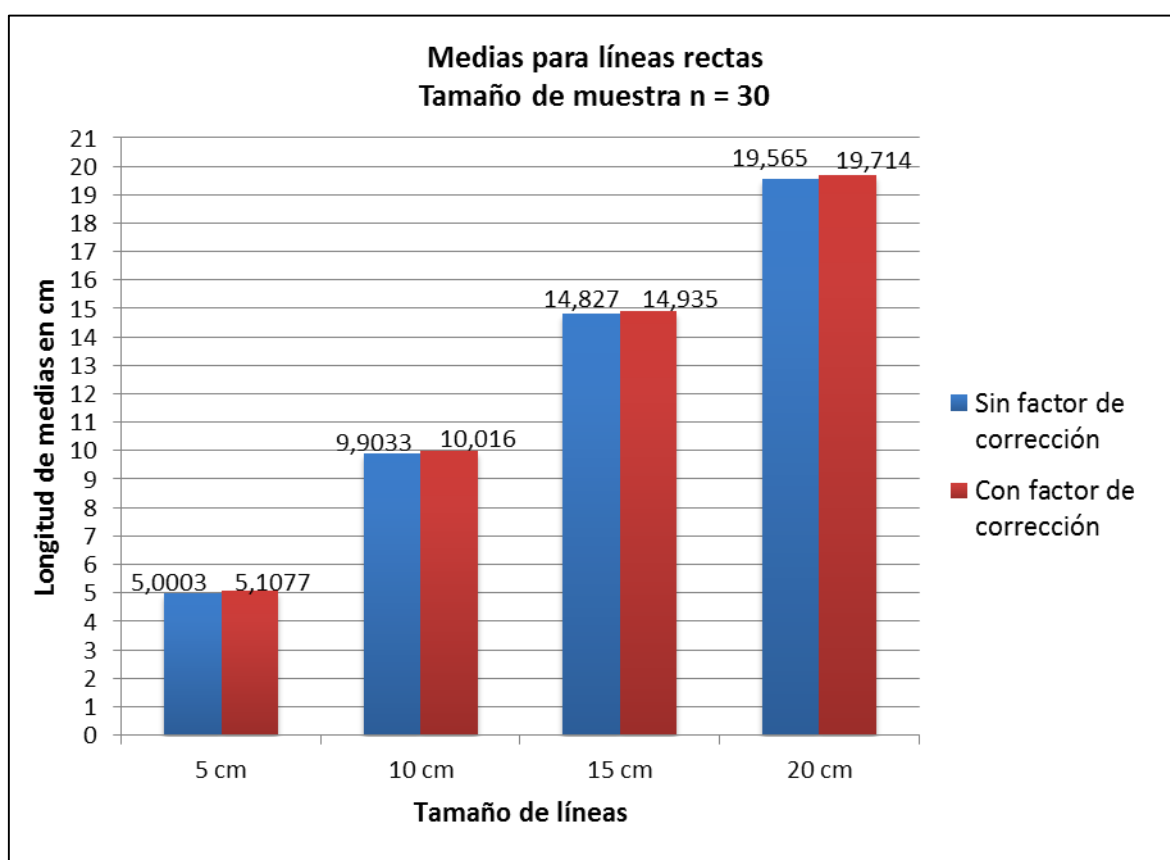
Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

Comparando el Cuadro 18 con el Cuadro 13 se puede observar que las medias para las líneas de 10 y 15 cm mejoran (están más cerca del valor deseado), pero para las líneas de 5 y 20 cm se alejan más del valor deseado; esto se debe a que el factor utilizado está más cerca de los factores encontrados para las líneas de 10

<sup>40</sup> El cuadro con las medidas tomadas para las líneas de 5, 10, 15 y 20 cm con factor de corrección, se encuentran en el Apéndice E: Datos y análisis estadístico.

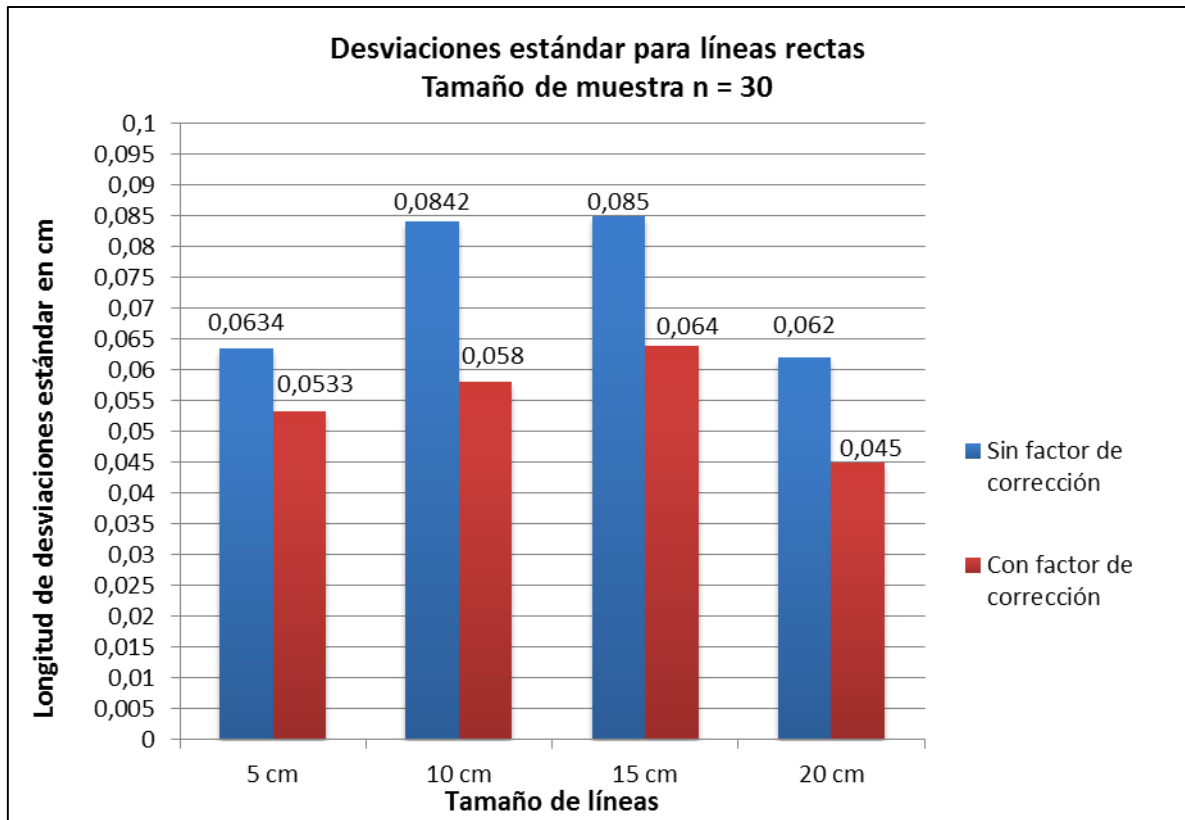
y 15 cm. Además, lo ideal es utilizar un factor de corrección diferente para cada tamaño de línea, pero en este caso por comodidad se trabajó con un solo factor de corrección. Con respecto a las desviaciones estándar, disminuye en todos los casos.

A continuación se puede apreciar de una mejor manera, en la Figura 104 y Figura 105, la comparación realizada entre la información contenida en el Cuadro 18 y la información contenida en el Cuadro 13.



Fuente: Creación Propia. Hecho con Microsoft Excel.

Figura 104. Gráfico comparativo de las medias para las líneas rectas.



Fuente: Creación Propia. Hecho con Microsoft Excel.

Figura 105. Gráfico comparativo de las desviaciones estándar para las líneas rectas.

En la Figura 105 se observa que existe una tendencia de crecimiento en las desviaciones estándar excluyendo el caso de la línea de 20 cm. Pero además después de la aplicación del factor de corrección hay una mejora en la desviación estándar para los cuatro casos.

Cuadro 19. Prueba de normalidad para líneas rectas con factor de corrección<sup>41</sup>. Tamaño de muestra n = 30.

Tamaño de Línea	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm
<b>Hipótesis</b>	H <sub>0</sub> : Los datos son normales			
<b>Valor de P</b>	0,118	0,522	0,340	0,252
<b>Condición de normalidad</b>	$P > 0,05$ por lo tanto no se puede rechazar la hipótesis de que los datos sigan una distribución normal			

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

En el Cuadro 19 se puede observar que los datos siguen una distribución normal, por lo que se calculan los intervalos de confianza y los de tolerancia.

Cuadro 20. Intervalos de confianza de 95% para la media y para la desviación estandar en las líneas rectas con factor de corrección<sup>42</sup>. Tamaño de muestra n = 30.

Tamaño de Línea	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm
<b>Intervalo para la media</b>	] 5.0878 , 5.1276 [	] 9.995 , 10.038 [	] 14.911 , 14.959 [	] 19.697 , 19.731 [
<b>Intervalo para la desviación estándar</b>	] 0.0425 , 0.0717 [	] 0.046 , 0.078 [	] 0.051 , 0.086 [	] 0.036 , 0.061 [

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

La información del Cuadro 20 asegura que con 95% de confianza, las medias y la desviaciones estándar para cada tipo de líneas rectas dibujadas por el robot, se

<sup>41</sup> Información tomada del análisis estadístico realizado con Minitab, se encuentra en el Apéndice E: Datos y análisis estadístico.

<sup>42</sup> Información tomada del análisis estadístico realizado con Minitab, se encuentra en el Apéndice E: Datos y análisis estadístico.

encuentran en los intervalos mencionados, los cuales son muy similares a los encontrados sin factor de corrección.

Cuadro 21. Intervalos de tolerancia de 95% para las medidas de las líneas rectas con factor de corrección<sup>43</sup>. Tamaño de muestra n = 30.

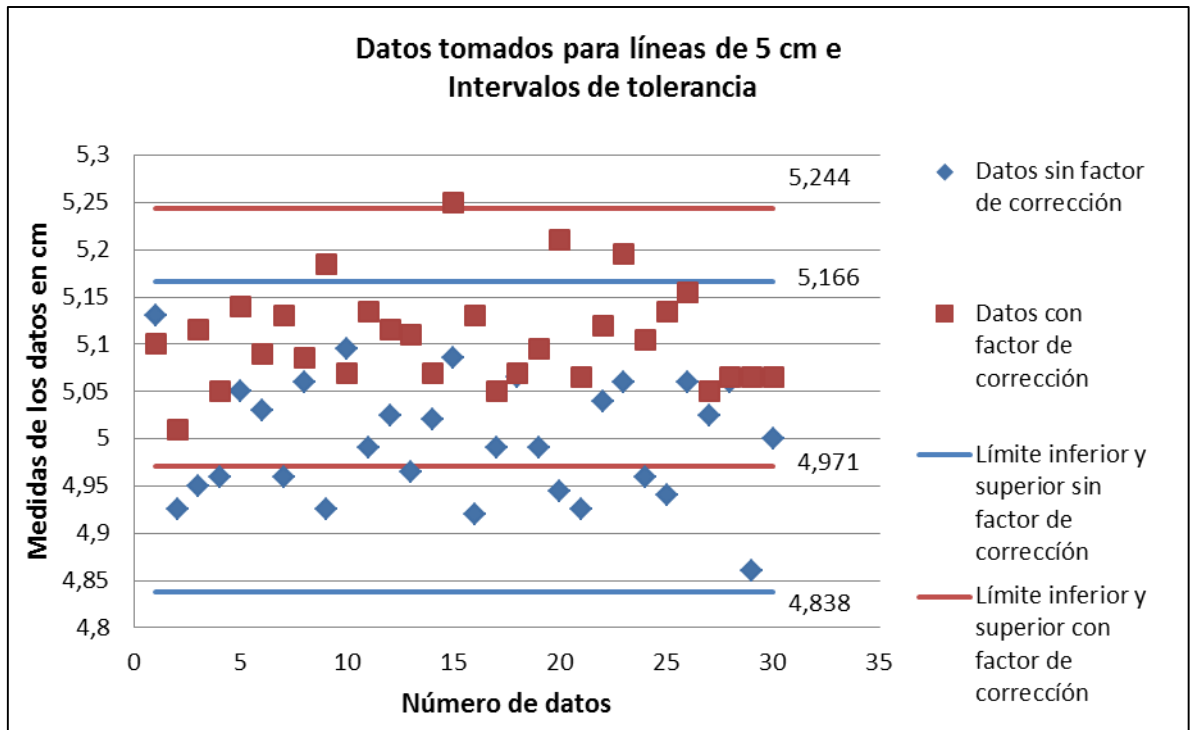
Tamaño de Línea	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm
Intervalo de tolerancia	] 4.971 , 5.244 [	] 9.868 , 10.164 [	] 14.771 , 15.099 [	] 19.599 , 19.829 [

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

Con la información del Cuadro 21, se puede asegurar con 95% de confianza, que las medidas de las líneas futuras dibujadas por el robot se van a encontrar dentro de los intervalos mencionados.

En la Figura 106 se mostrará la gráfica de dispersión de los datos para una de las medidas (5 cm), a manera de ejemplo; donde se podrá apreciar el factor que influyó en la decisión de no aplicar el factor de corrección al trazo de líneas; debido a que se puede observar que no hay mejora significativa.

<sup>43</sup> Información tomada del análisis estadístico realizado con Minitab, se encuentra en el Apéndice E: Datos y Análisis Estadístico.



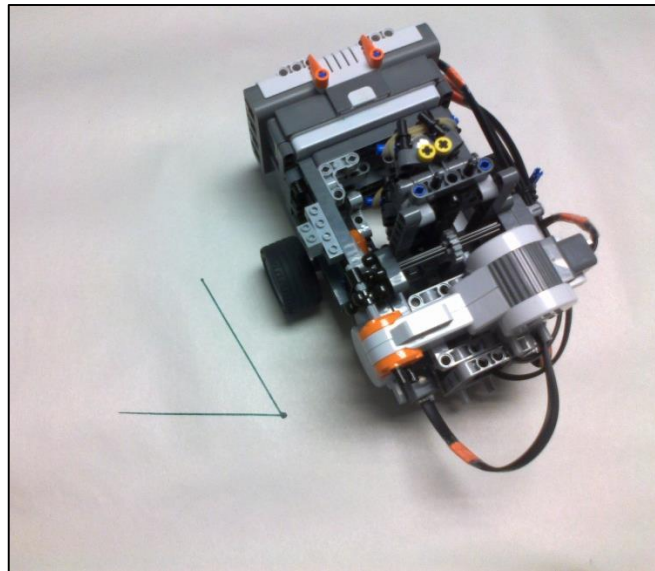
Fuente: Creación Propia. Hecho con Microsoft Excel.

Figura 106. Gráfico de dispersión e intervalos de tolerancia para los datos de la línea de 5 cm.

Estos nuevos intervalos son muy similares a los analizados sin factor de corrección, por lo que se decide trabajar sin factor de corrección en el trazo de líneas rectas.

### 6.1.2. Ángulo

Se ejecutaron las acciones programadas en eclipse, las cuales enviaron órdenes a los motores del robot, para obtener como resultado un ángulo cuya medida se aproxima a la seleccionada (15°, 30°, 60°, 90°, 108°, 120° y 150°); la siguiente imagen nos muestra el resultado de solicitarle al robot dibujar un ángulo.



Fuente: Creación Propia.

Figura 107. Ángulo hecho con el robot.

Con el objetivo de analizar si la medida del ángulo dibujado por el robot es la que se le indicó, se tomó una muestra de 30 medidas de los ángulos dibujados por el robot para cada una de los tamaños de 15°, 30°, 60°, 90°, 108°, 120° y 150°; luego se realizó un análisis estadístico utilizando el programa Minitab y se obtuvieron los siguientes resultados:

Cuadro 22. Medias y desviaciones estándar para ángulos<sup>44</sup>.

Tamaño de muestra  $n = 30$ .

Tamaño de Ángulo	15°	30°	60°	90°	108°	120°	150°
<b>Media (<math>\mu</math>)</b>	8,3316	24,100	54,948	86,328	106,21	119,48	150,78
<b>Desviación Estándar (<math>\sigma</math>)</b>	0,4628	0,461	0,370	0,245	0,30	0,38	0,72

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word

<sup>44</sup> El cuadro con las medidas tomadas para los ángulos de 15°, 30°, 60°, 90°, 108°, 120° y 150°, se encuentran en el Apéndice E: Datos y análisis estadístico.

En el Cuadro 22 se puede observar que las medias para cada una de los tamaños de ángulos se encontraron alejados del valor deseado, principalmente para los ángulos de menor tamaño (15°, 30°, 60°, 90°, 108°) y también se muestran las desviaciones estándar para cada caso.

Cuadro 23. Prueba de normalidad para ángulos<sup>45</sup>. Tamaño de muestra  $n = 30$ .

Tamaño de Ángulo	15°	30°	60°	90°	108°	120°	150°
<b>Hipótesis</b>	H <sub>0</sub> : Los datos son normales						
<b>Valor de P</b>	0,364	0,338	0,677	0,355	0,389	0,445	0,285
<b>Condición de normalidad</b>	$P > 0,05$ por lo tanto no se puede rechazar la hipótesis de que los datos sigan una distribución normal						

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

En el Cuadro 23 se muestran los valores de  $p$  para las pruebas de normalidad de Anderson-Darling; en todos los casos estos valores son mayores que 0,05 ; por lo tanto no se pueden rechazar la hipótesis de que los datos sigan una distribución normal. Por tal razón se pueden afirmar los siguientes intervalos de confianza.

<sup>45</sup> Información tomada del análisis estadístico realizado con Minitab, se encuentra en el Apéndice E: Datos y análisis estadístico.

Cuadro 24. Intervalos de confianza de 95% para la media y para la desviación estándar en los ángulos<sup>46</sup>. Tamaño de muestra n = 30.

Tamaño de Ángulo	15°	30°	60°	90°
Intervalo para la media	] 8.1588 , 8.5044 [	] 23.928 , 24.272 [	] 54.810 , 55.086 [	] 86.237 , 86.420 [
Intervalo para la desviación estándar	] 0.3685 , 0.6221 [	] 0.367 , 0.620 [	] 0.295 , 0.498 [	] 0.195 , 0.329 [
Tamaño de Ángulo	108°	120°	150°	
Intervalo para la media	] 106.10 , 106.32 [	] 119.34 , 119.62 [	] 150.51 , 151.05 [	
Intervalo para la desviación estándar	] 0.24 , 0.40 [	] 0.31 , 0.52 [	] 0.57 , 0.97 [	

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

La información del Cuadro 24 asegura que con 95% de confianza, las medias y la desviaciones estándar para cada tipo de ángulo dibujado por el robot, se encuentran en los intervalos mencionados.

<sup>46</sup> Información tomada del análisis estadístico realizado con Minitab, se encuentra en el Apéndice E: Datos y análisis estadístico.

Cuadro 25. Intervalos de tolerancia de 95% para las medidas de los ángulos<sup>47</sup>. Tamaño de muestra n = 30.

Tamaño de Ángulo	15°	30°	60°	90°
Intervalo de tolerancia	] 7.406 , 9.397 [	] 23.155 , 24.742 [	] 54.326 , 55.751 [	] 85.819 , 86.859 [
Tamaño de Ángulo	108°	120°	150°	
Intervalo de tolerancia	] 105.689 , 106.835 [	] 118.858 , 120.224 [	] 149.593 , 152.097 [	

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

Con la información del Cuadro 25, se puede asegurar con 95% de confianza que las medidas de los ángulos futuros dibujados por el robot se van a encontrar dentro de los intervalos mencionados.

Con los datos anteriores se calcularon los factores de corrección para mejorar los valores obtenidos en los tamaños de los ángulos dibujados, los intervalos de confianza para las medias y desviaciones estándar, así como los intervalos de tolerancia para las medidas de los ángulos.

Los factores se calcularon de la siguiente manera:

<sup>47</sup> Información tomada del análisis estadístico realizado con Minitab, se encuentra en el Apéndice E: Datos y análisis estadístico.

Cuadro 26. Factores de corrección para ángulos. Tamaño de muestra n = 30.

Tamaño de Ángulo (TA)	15°	30°	60°	90°	108°	120°	150°
<b>Media (<math>\mu</math>)</b>	8,3316	24,100	54,948	86,328	106,21	119,48	150,78
<b>Factor de corrección</b> $\left(\frac{180-TA}{180-\mu}\right)$	0,9612	0,9622	0,9596	0,9608	0,9758	0,9914	1,0267
<b>Media de factores</b>	0,9768						
<b>Mediana de factores</b>	0,9622						

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

Se observa que cuando la media estuvo cercana a un valor menor al esperado, es porque el robot giró más de lo que se necesitaba, dibujando un ángulo menor al que se está buscando. En este caso el factor de corrección es menor que 1 y lo que busca es que el motor gire menos de lo indicado para que las ruedas avancen menos.

En el caso en que la media fuese mayor a lo deseado, se debió a que el robot giró menos de lo que se necesitaba, dibujando un ángulo mayor al buscado. En este caso el factor de corrección es mayor que 1, con el fin de que el motor gire más, las ruedas avancen más para así lograr una medida más cercana a la buscada.

Entonces, se buscó un solo factor para las siete medidas, tomando la mediana por ser una medida con igual de cantidad de datos menores y mayores a ella.

Nuevamente se realizó la toma de datos (medidas de los ángulos dibujados por el robot) y el análisis estadístico con el programa Minitab. A continuación se muestran los resultados,

Cuadro 27. Medias y desviaciones estándar para ángulos con factor de corrección<sup>48</sup>. Tamaño de muestra n = 30.

Tamaño de Ángulo	15°	30°	60°	90°	108°	120°	150°
<b>Media( <math>\mu</math> )</b>	14,841	30,034	59,516	90,067	107,81	121,08	149,97
<b>Desviación Estándar( <math>\sigma</math> )</b>	0,553	0,405	0,316	0,483	0,48	0,58	0,62

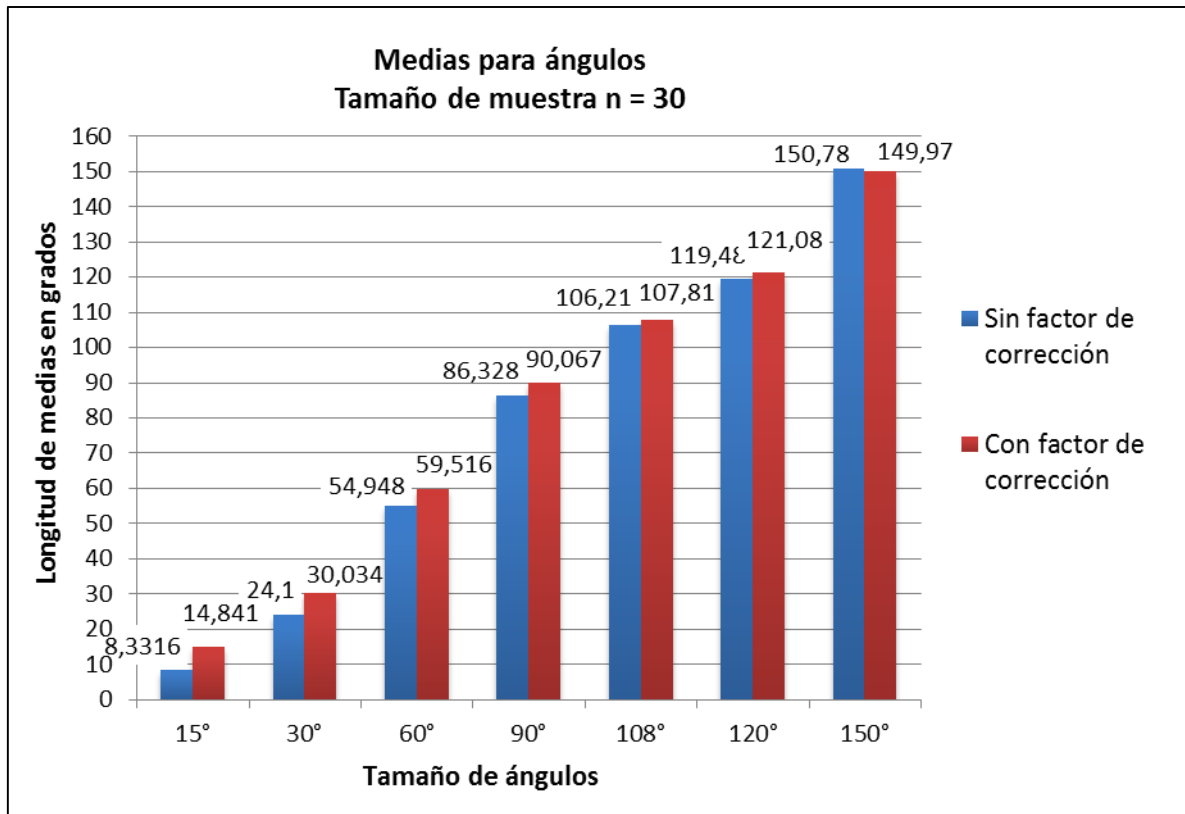
Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

Comparando el Cuadro 27 con el Cuadro 22, se observa que las medias mejoran (están más cerca del valor deseado) en seis de los siete casos. En el caso de los ángulos, a diferencia del caso de las líneas rectas, aunque lo ideal no es tomar un solo factor de corrección para todos los ángulos, sí funciona bastante bien el hacerlo. Con respecto a las desviaciones estándar, en algunos casos disminuye y en otros aumenta.

A continuación se puede apreciar de una mejor manera, en la Figura 108 y Figura 109, la comparación realizada entre la información contenida en el Cuadro 27 y la información contenida en el Cuadro 22.

---

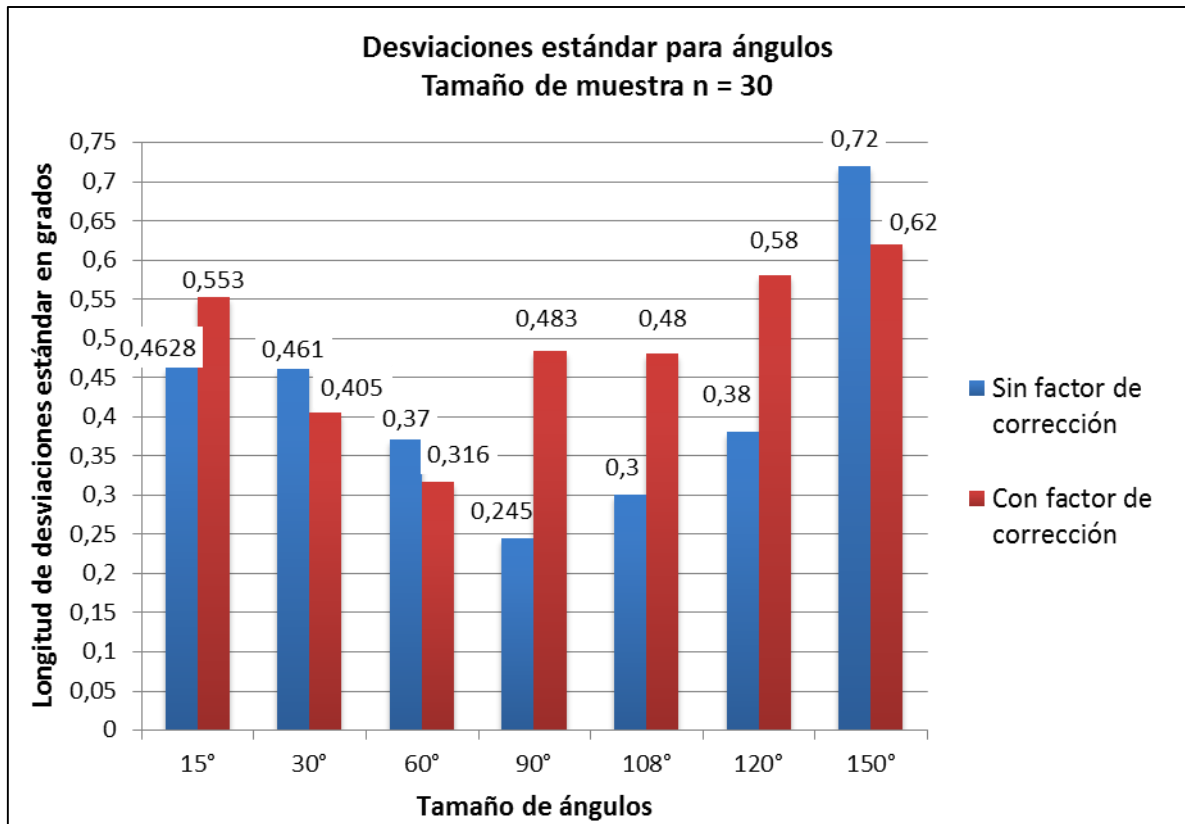
<sup>48</sup> El cuadro con las medidas tomadas para los ángulos de 15°, 30°, 60°, 90°, 108°, 120° y 150°, se encuentran en el Apéndice E: Datos y análisis estadístico.



Fuente: Creación Propia. Hecho con Microsoft Excel.

Figura 108. Gráfico comparativo de las medias para los ángulos.

En la Figura 108 se puede observar que la diferencia en la media de los ángulos con o sin factor es amplia, principalmente para los ángulos de 15°, 30°, 60° y 90°. Además se nota como se acercan las medias al valor deseado después de aplicar el factor de corrección, principalmente en los ángulos de menor medida.



Fuente: Creación Propia. Hecho con Microsoft Excel.

Figura 109. Gráfico comparativo de las desviaciones estándar para los ángulos.

En la Figura 109 se observa que existe una tendencia de decrecimiento en las desviaciones estándar en los primeros datos y de crecimiento para los últimos. Pero además después de la aplicación del factor de corrección hay un aumento de la desviación estándar para la mayoría de los datos.

Cuadro 28. Prueba de normalidad para ángulos con factor de corrección<sup>49</sup>. Tamaño de muestra n = 30.

Tamaño de Ángulo	15°	30°	60°	90°	108°	120°	150°
<b>Hipótesis</b>	H0: Los datos son normales						
<b>Valor de P</b>	0,085	0,544	0,365	0,649	0,291	0,603	0,243
<b>Condición de normalidad</b>	$P > 0,05$ por lo tanto no se puede rechazar la hipótesis de que los datos sigan una distribución normal						

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

En el Cuadro 28 se puede observar que los datos siguen una distribución normal, por lo que se calculan los intervalos de confianza y los de tolerancia.

<sup>49</sup> Información tomada del análisis estadístico realizado con Minitab, se encuentra en el Apéndice E: Datos y análisis estadístico.

Cuadro 29. Intervalos de confianza de 95% para la media y para la desviación estandar en los ángulos con factor de corrección<sup>50</sup>.

Tamaño de muestra n = 30.

Tamaño de Ángulo	15°	30°	60°	90°
Intervalo para la media	] 14.635 , 15.048 [	] 29.882 , 30.185 [	] 59.398 , 59.634 [	] 89.887 , 90.248 [
Intervalo para la desviación estándar	] 0.441 , 0.744 [	] 0.322 , 0.544 [	] 0.252 , 0.425 [	] 0.384 , 0.649 [
Tamaño de Ángulo	108°	120°	150°	
Intervalo para la media	] 107.63 , 107.98 [	] 120.86 , 121.29 [	] 149.73 , 150.20 [	
Intervalo para la desviación estándar	] 0.38 , 0.64 [	] 0.47 , 0.79 [	] 0.49 , 0.83 [	

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

La información del Cuadro 29, asegura que con 95% de confianza las medias y la desviaciones estándar para cada tipo de ángulos dibujados por el robot, se encuentran en los intervalos mencionados, los cuales son mejores que los que se tenían sin factor de corrección.

<sup>50</sup> Información tomada del análisis estadístico realizado con Minitab, se encuentra en el Apéndice E: Datos y análisis estadístico.

Cuadro 30. Intervalos de tolerancia de 95% para las medidas de los ángulos con factor de corrección<sup>51</sup>. Tamaño de muestra n = 30.

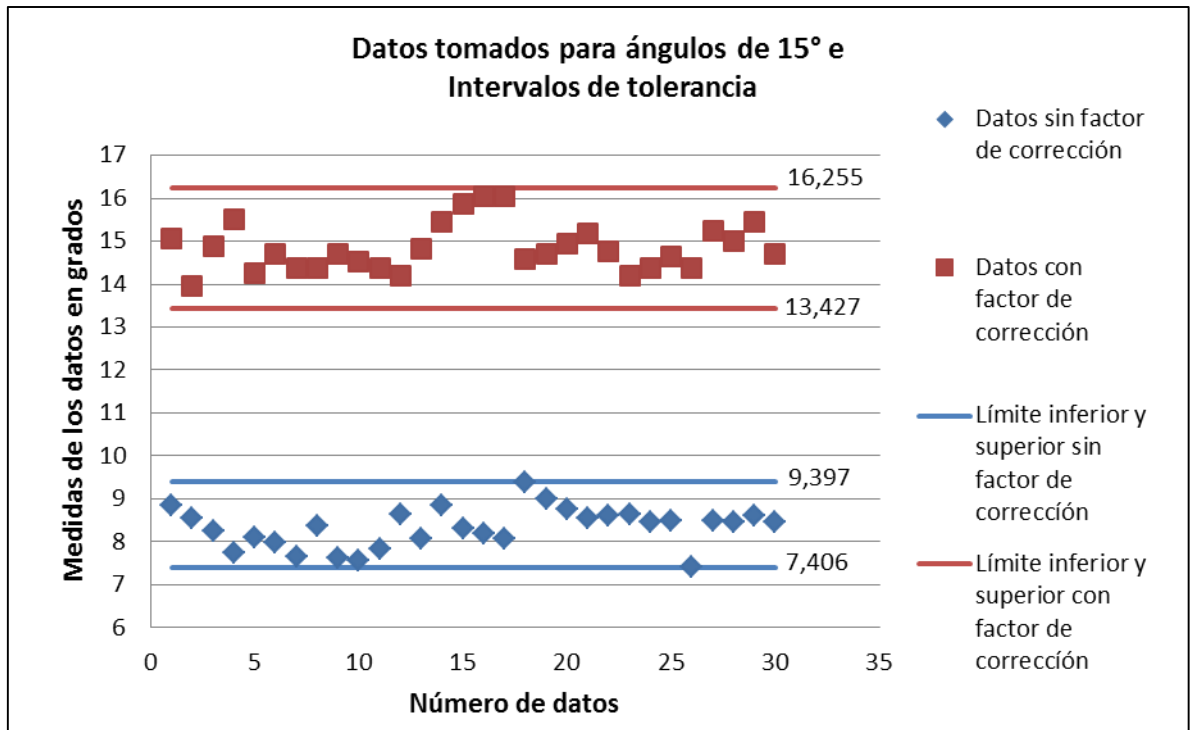
Tamaño de Ángulo	15°	30°	60°	90°
Intervalo de tolerancia	] 13.427 , 16.255 [	] 29.000 , 31.067 [	] 58.708 , 60.323 [	] 88.834 , 91.301 [
Tamaño de Ángulo	108°	120°	150°	
Intervalo para la media	] 106.592 , 109.021 [	] 119.581 , 122.570 [	] 148.388 , 151.542 [	

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

De igual manera, mejoraron considerablemente los intervalos de tolerancia mostrados en el Cuadro 30.

En la Figura 110 se mostrará la gráfica de dispersión de los datos para una de las medidas (15°), a manera de ejemplo; donde se podrá apreciar el factor que influyó en la decisión de aplicar el factor de corrección al trazo de ángulos; debido a que se puede observar la mejora considerable en las medidas y en los intervalos de tolerancia.

<sup>51</sup> Información tomada del análisis estadístico realizado con Minitab, se encuentra en el Apéndice E: Datos y análisis estadístico.



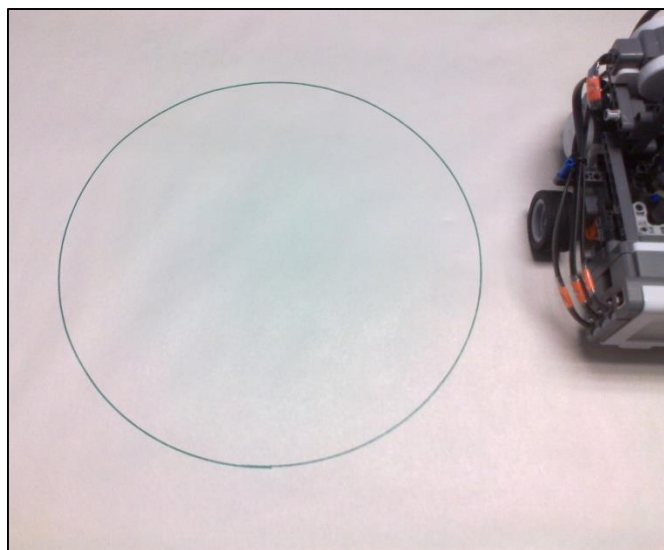
Fuente: Creación Propia. Hecho con Microsoft Excel.

Figura 110. Gráfico de dispersión e intervalos de tolerancia para los datos del ángulo de 15°.

Debido a que estos nuevos intervalos mejoran de manera considerable comparados con los analizados sin factor de corrección, se decide trabajar con factor de corrección en el trazo de ángulos.

### 6.1.3. Circunferencia

Se ejecutaron las acciones programadas en Eclipse, las cuales enviaron órdenes a los motores del robot, para obtener como resultado una circunferencia cuya medida del radio se aproxima a la seleccionada (10, 15 y 20 centímetros). La siguiente imagen muestra el resultado de solicitarle al robot dibujar una circunferencia.



Fuente: Creación Propia.

Figura 111. Círculo hecho con el Robot.

Con el objetivo de analizar si la medida del radio de la circunferencia dibujada por el robot fue la indicada, se tomó una muestra de 30 medidas de los radios de las circunferencias dibujadas por el robot, para cada uno de los tamaños de radio 10, 15 y 20 centímetros. Luego se realizó un análisis estadístico utilizando el programa Minitab y se obtuvieron los siguientes resultados:

Cuadro 31. Medias y desviaciones estándar para los radios de las circunferencias<sup>52</sup>. Tamaño de muestra  $n = 30$ .

Tamaño de Radio	10 cm	15 cm	20 cm
Media( $\mu$ )	8,9020	13,418	17,514
Desviación Estándar( $\sigma$ )	0,0333	0.028	0,040

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

<sup>52</sup> El cuadro con las medidas tomadas para los radios de 10, 15 y 20 centímetros, se encuentran en el Apéndice E: Datos y análisis estadístico.

En el Cuadro 31 se puede observar que las medias para cada una de los tamaños de radio se encuentran muy alejadas al valor deseado, principalmente para las circunferencia de radio de mayor tamaño (20 centímetros); también se muestran las desviaciones estándar para cada caso.

Cuadro 32. Prueba de normalidad para los radios de las circunferencias<sup>53</sup>. Tamaño de muestra  $n = 30$ .

Tamaño de Radio	10 cm	15 cm	20 cm
Hipótesis	H <sub>0</sub> : Los datos son normales		
Valor de P	0,3222	0,513	0,854
Condición de normalidad	$P > 0,05$ por lo tanto no se puede rechazar la hipótesis de que los datos sigan una distribución normal		

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

En el Cuadro 32 se muestran los valores de  $p$  para las pruebas de normalidad de Anderson-Darling; en todos los casos estos valores son mayores que 0,05 ; por lo tanto, no se pueden rechazar la hipótesis de que los datos sigan una distribución normal. Por tal razón se pueden afirmar los siguientes intervalos de confianza.

---

<sup>53</sup> Información tomada del análisis estadístico realizado con Minitab, se encuentra en el Apéndice E: Datos y análisis estadístico.

Cuadro 33. Intervalos de confianza de 95% para la media y para la desviación estandar en los radios de las circunferencias<sup>54</sup>. Tamaño de muestra n = 30.

Tamaño de Radio	10 cm	15 cm	20 cm
<b>Intervalo para la media</b>	] 8.8895 , 8.9144 [	] 13.408 , 13.429 [	] 17.499 , 17.529 [
<b>Intervalo para la desviación estándar</b>	] 0.0265 , 0.0448 [	] 0.023 , 0.038 [	] 0.032 , 0.054 [

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

La información del Cuadro 33, asegura que con un 95% de confianza, las medias y la desviaciones estándar para cada medida de radio en la circunferencia dibujada por el robot se encuentran en los intervalos mencionados.

Cuadro 34. Intervalos de tolerancia de 95% para los radios de las circunferencias<sup>55</sup>. Tamaño de muestra n = 30.

Tamaño de Radio	10 cm	15 cm	20 cm
Intervalo de tolerancia	] 8.817 , 8.987 [	] 13.346 , 13.490 [	] 17.411 , 17.617 [

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

Con la información del Cuadro 34, se puede asegurar con 95% de confianza que las medidas de los radios de las circunferencias futuras dibujadas por el robot se van a encontrar dentro de los intervalos mencionados.

Con los datos anteriores se calcularon factores de corrección, para mejorar los valores obtenidos en los tamaños de los radios de las circunferencias dibujadas, los intervalos de confianza para las medias y desviaciones estándar, así como los

<sup>54</sup> Información tomada del análisis estadístico realizado con Minitab, se encuentra en el Apéndice E: Datos y análisis estadístico.

<sup>55</sup> Información tomada del análisis estadístico realizado con Minitab, se encuentra en el Apéndice E: Datos y análisis estadístico.

intervalos de tolerancia para las medidas de los radios de las circunferencias. Los factores se calcularon de la siguiente manera:

Cuadro 35. Factores de corrección para los radios de las circunferencias. Tamaño de muestra  $n = 30$ .

Tamaño de Radio (TR)	10 cm	15 cm	20 cm
Media ( $\mu$ )	8,9020	13,418	17,514
Factor de corrección $\left(\frac{TR}{\mu}\right)$	1,1233	1,1179	1,1420
Media de factores		1,1277	
Mediana de factores		1,1233	

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

Se observa que en todos los casos se midieron valores menores a lo esperado; esto es porque el robot recorrió una circunferencia menor de lo que se buscaba. En este caso, el factor de corrección es mayor que 1 y lo que se busca es que el robot recorra una circunferencia mayor para así lograr la medida del radio más cercana a la deseada.

Entonces se buscó un solo factor para las tres medidas de los radios y se tomó la mediana por ser una medida con igual de cantidad de datos menores y mayores a ella.

Nuevamente se realizó la toma de datos (medidas de los radios de las circunferencias dibujadas por el robot) y el análisis estadístico con el programa Minitab. A continuación se muestran los resultados.

Cuadro 36. Medias y desviaciones estándar para los radios de las circunferencias con factor de corrección<sup>56</sup>. Tamaño de muestra  $n = 30$ .

Tamaño de Radio	10 cm	15 cm	20 cm
Media( $\mu$ )	10,083	14,945	19,392
Desviación Estándar( $\sigma$ )	0,020	0,051	0,038

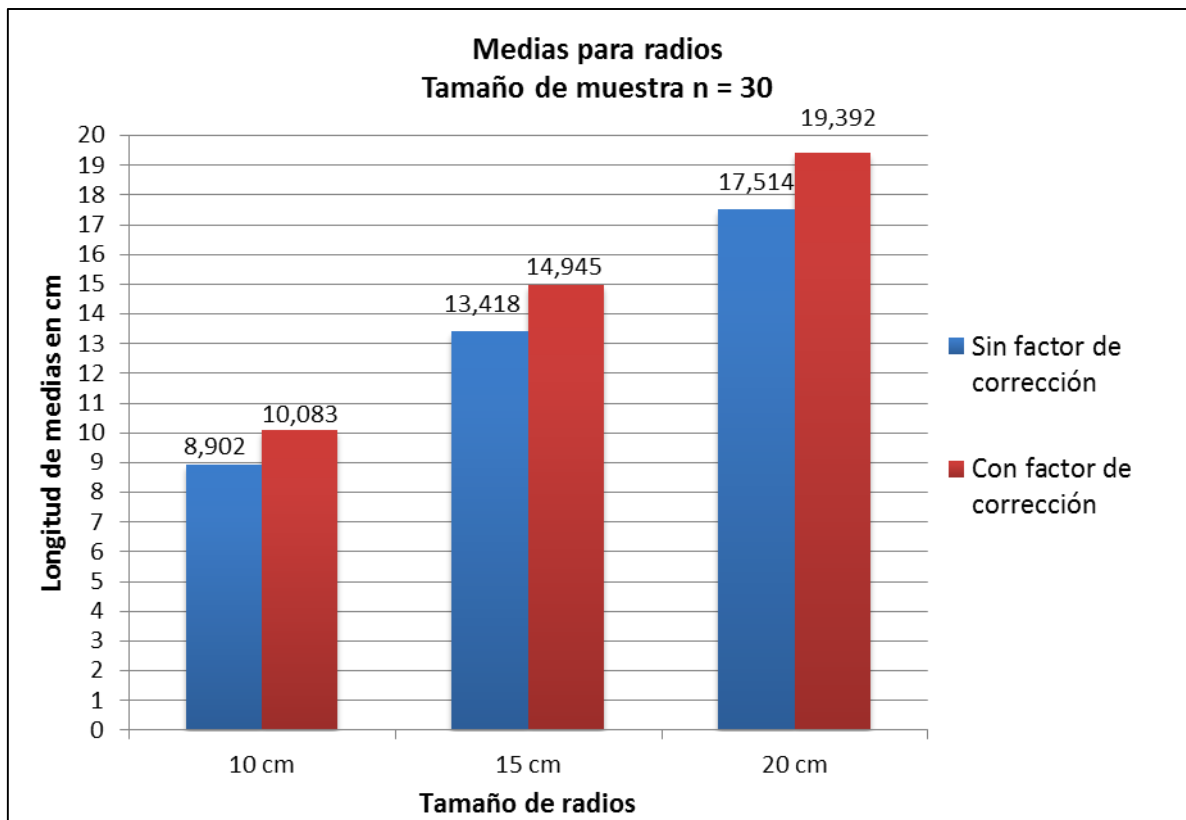
Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

Comparando el Cuadro 36 con el Cuadro 31 se puede observar que las medias mejoraron (están más cerca del valor deseado) en los tres casos, al igual que en el caso de los ángulos. Aunque lo ideal no es tomar un solo factor de corrección para todos los radios, si funciona bastante bien el hacerlo. Con respecto a las desviaciones estándar, en algunos casos disminuye y en otros aumenta.

A continuación se puede apreciar de una mejor manera, en la Figura 112 y Figura 113, la comparación realizada entre la información contenida en el Cuadro 36 y la información contenida en el Cuadro 31.

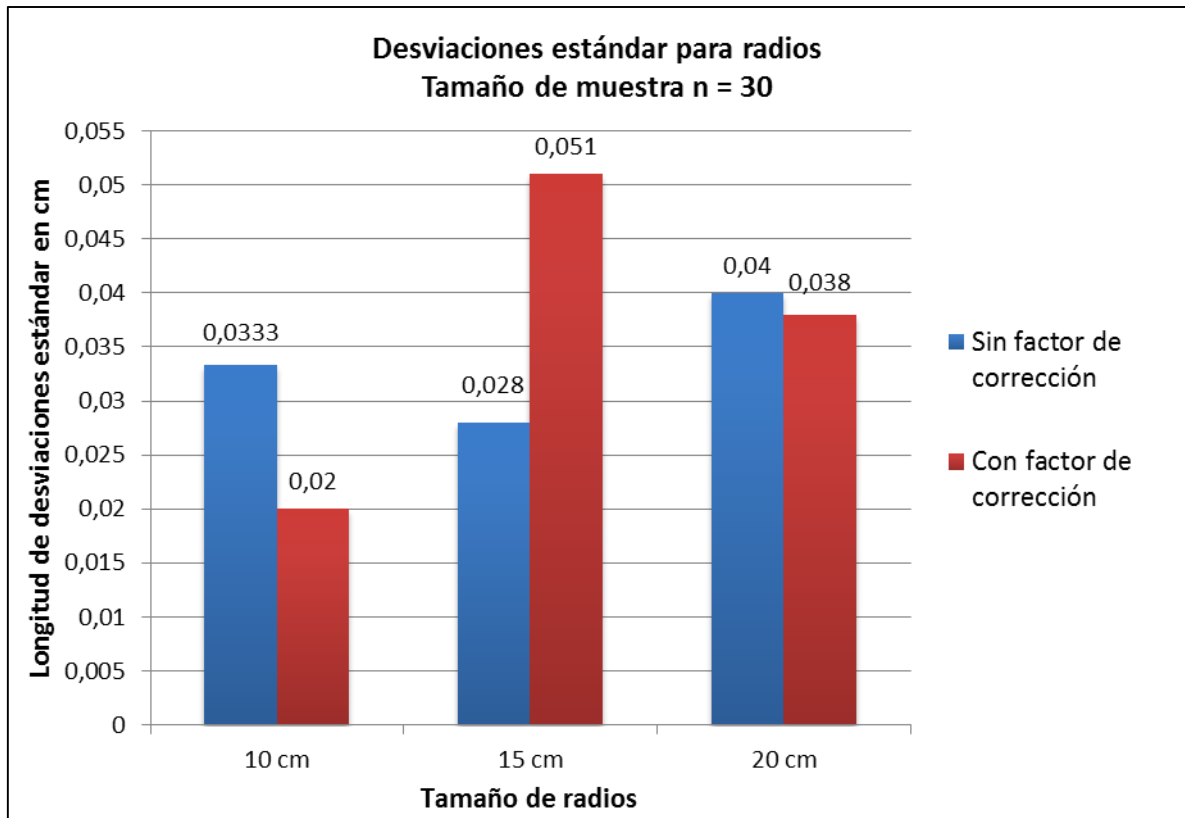
---

<sup>56</sup> El cuadro con las medidas tomadas para los radios de 10, 15 y 20 centímetros, se encuentran en el Apéndice E: Datos y análisis estadístico.



Fuente: Creación Propia. Hecho con Microsoft Excel.

Figura 112. Gráfico comparativo de las medias para los radios de las circunferencias.



Fuente: Creación Propia. Hecho con Microsoft Excel.

Figura 113. Gráfico comparativo de las desviaciones estándar para los radios de las circunferencias.

Cuadro 37. Prueba de normalidad para los radios de las circunferencias con factor de corrección<sup>57</sup>. Tamaño de muestra n = 30.

Tamaño de Radio	10 cm	15 cm	20 cm
<b>Hipótesis</b>	H <sub>0</sub> : Los datos son normales		
<b>Valor de P</b>	0,117	0,774	0,713
<b>Condición de normalidad</b>	$P > 0,05$ por lo tanto no se puede rechazar la hipótesis de que los datos sigan una distribución normal		

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

En el Cuadro 37, se puede observar que los datos siguen una distribución normal, por lo que se calculan los intervalos de confianza y los de tolerancia.

Cuadro 38. Intervalos de confianza de 95% para la media y para la desviación estándar en los radios de las circunferencias con factor de corrección<sup>58</sup>. Tamaño de muestra n = 30.

Tamaño de Radio	10 cm	15 cm	20 cm
<b>Intervalo para la media</b>	] 10.075 , 10.090 [	] 14.926 , 14.964 [	] 19.378 , 19.406 [
<b>Intervalo para la desviación estándar</b>	] 0.016 , 0.027 [	] 0.041 , 0.069 [	] 0.030 , 0.051 [

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

La información del Cuadro 38 asegura que con un 95% de confianza, las medias y la desviaciones estándar para cada tipo de radio de las circunferencias dibujadas

<sup>57</sup> Información tomada del análisis estadístico realizado con Minitab, se encuentra en el Apéndice E: Datos y análisis estadístico.

<sup>58</sup> Información tomada del análisis estadístico realizado con Minitab, se encuentra en el Apéndice E: Datos y análisis estadístico.

por el robot se encuentran en los intervalos mencionados, los cuales son mucho mejores que los que se tenían sin factor de corrección.

Cuadro 39. Intervalos de tolerancia de 95% para las medidas de los radios de las circunferencias con factor de corrección<sup>59</sup>.  
Tamaño de muestra n = 30.

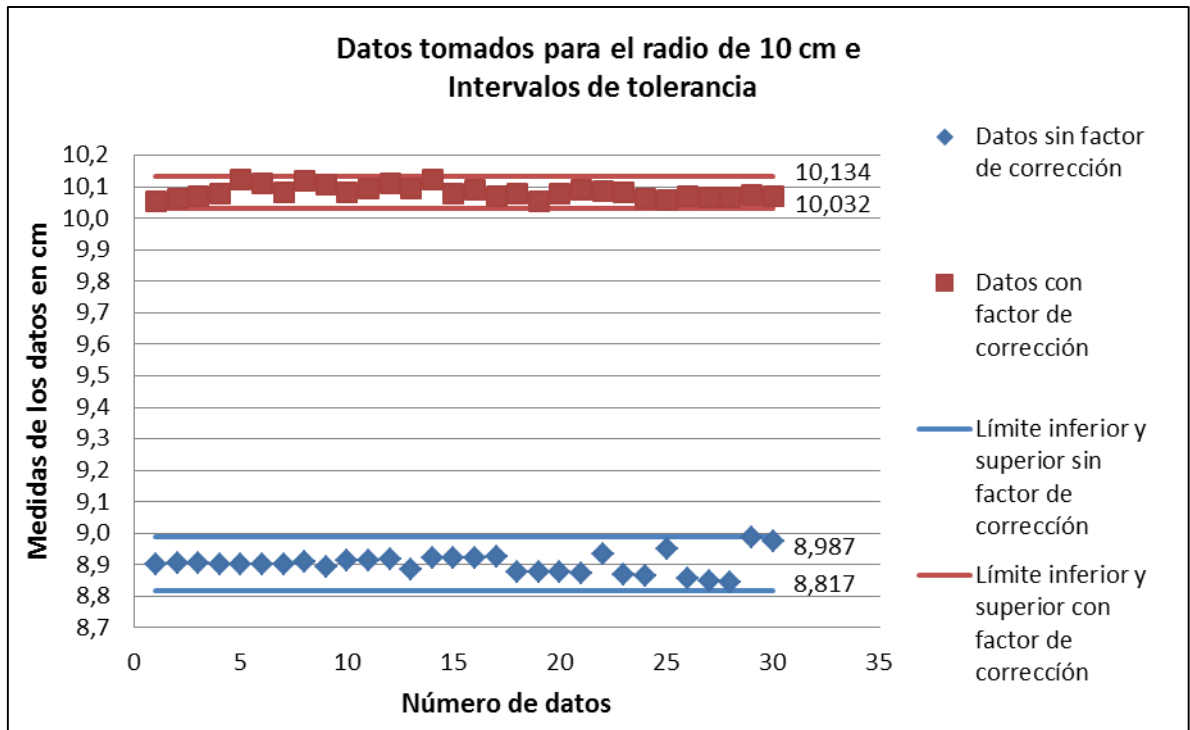
Tamaño de Radio	10 cm	15 cm	20 cm
Intervalo de tolerancia	] 10.032 , 10.134 [	] 14.813 , 15.076 [	] 19.294 , 19.489 [

Fuente: Creación propia

De igual manera se mejoran considerablemente los intervalos de tolerancia mostrados en el Cuadro 39, aunque el último no contiene el valor deseado debido a la elección del factor de corrección.

En la Figura 114 se mostrará la gráfica de dispersión de los datos para una de las medidas (15°), a manera de ejemplo; donde se podrá apreciar el factor que influyó en la decisión de aplicar el factor de corrección al trazo de ángulos; debido a que se puede observar la mejora considerable en las medidas y en los intervalos de tolerancia.

<sup>59</sup> Información tomada del análisis estadístico realizado con Minitab, se encuentra en el Apéndice E: Datos y análisis estadístico.



Fuente: Creación Propia. Hecho con Microsoft Excel.

Figura 114. Gráfico de dispersión e intervalos de tolerancia para los datos del radio de 10 cm.

Debido a que estos nuevos intervalos mejoran de manera considerable comparados con los analizados sin factor de corrección, se decide trabajar con factor de corrección en el trazo de circunferencias.

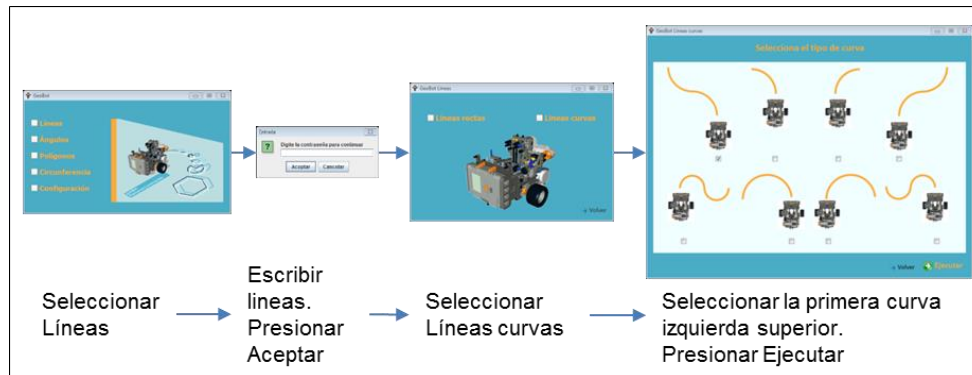
## 6.2. Prueba de funcionamiento de la aplicación

Después de la programación y verificación del funcionamiento del robot, se desarrolló una aplicación denominada GeoBot, que sirve de interfaz con el robot. Con el fin de validar las propiedades de Correctitud, Confiabilidad y Robustez de la aplicación, se ejecutó el programa seleccionando todas las posibilidades de abrir, cambiar o devolverse en a una ventana, e inclusive de ejecutar alguna acción o

cerrar el programa. Para efectos del capítulo se muestran algunos ejemplos de las acciones realizadas para dibujar una línea curva, un ángulo, un polígono y una circunferencia.

### 6.2.1. Línea curva

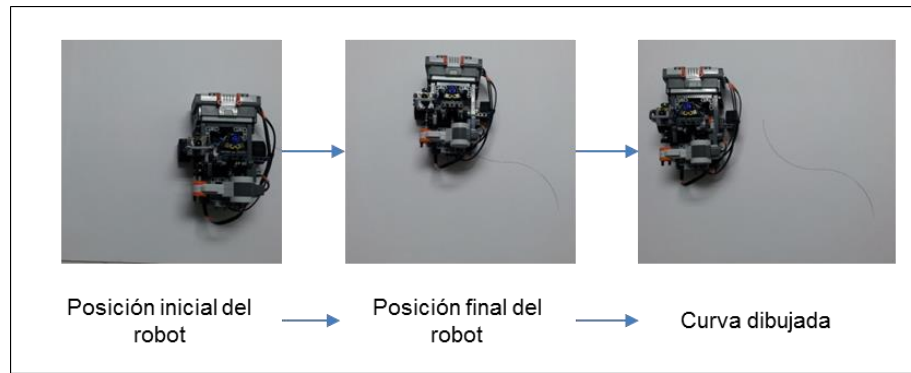
En la siguiente figura, se muestran los pasos que se requieren ejecutar en la aplicación GeoBot, para comprobar que este funciona de manera correcta cuando se desea dibujar una línea curva.



Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft PowerPoint.

Figura 115. Secuencia de comandos en la aplicación Geobot para que el robot dibuje una línea curva.

Una vez ejecutados los comandos anteriores, estos se transmiten al robot que ejecuta la tarea, tal como se muestra en la figura:

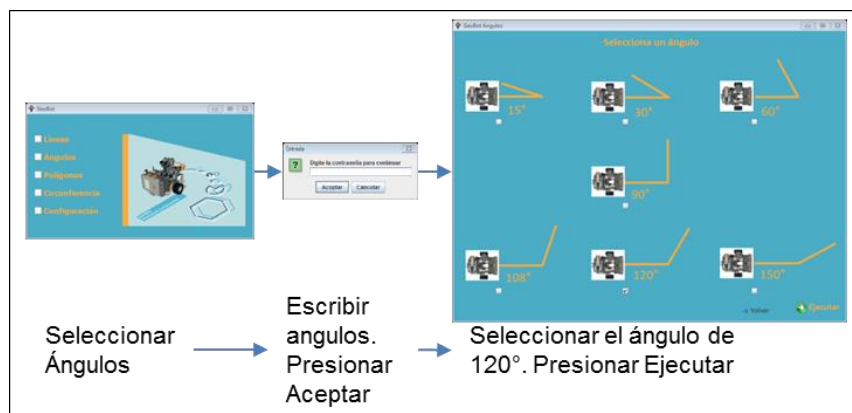


Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft PowerPoint.

Figura 116. Posición inicial de robot y resultado de ejecutar los pasos mencionados para dibujar una línea curva.

## 6.2.2. Ángulo

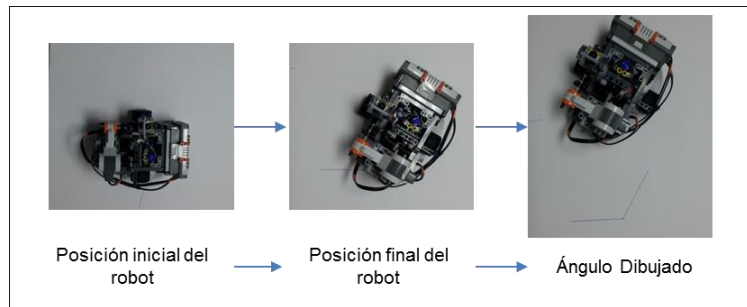
En la siguiente figura, se muestran los pasos que se requieren ejecutar en la aplicación GeoBot, para comprobar que este funciona de manera correcta cuando se desea dibujar un ángulo.



Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft PowerPoint.

Figura 117. Secuencia de comandos en la aplicación Geobot para que el robot dibuje un ángulo de 120°.

Al ejecutar los pasos anteriores se obtiene como resultado que el robot dibuja el ángulo mostrado en la siguiente figura:

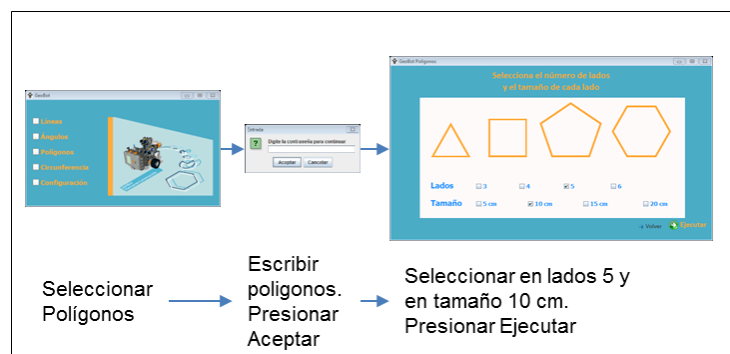


Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft PowerPoint.

Figura 118. Posición inicial de robot y resultado de ejecutar los pasos mencionados para dibujar un ángulo de 120°.

### 6.2.3. Polígono

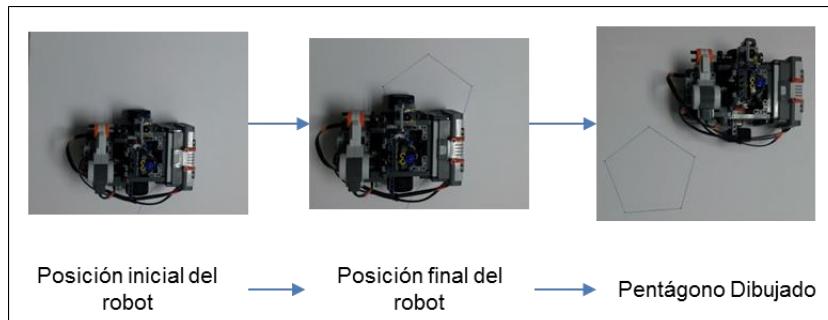
En la siguiente figura, se muestran los pasos que se requieren ejecutar en la aplicación GeoBot, para comprobar que este funciona de manera correcta cuando se desea dibujar un polígono.



Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft PowerPoint.

Figura 119. Secuencia de comandos en la aplicación Geobot para que el robot dibuje un pentágono de lado 10 centímetros.

Al ejecutar los pasos anteriores se obtiene como resultado que el robot dibuja el pentágono mostrado en la siguiente figura:

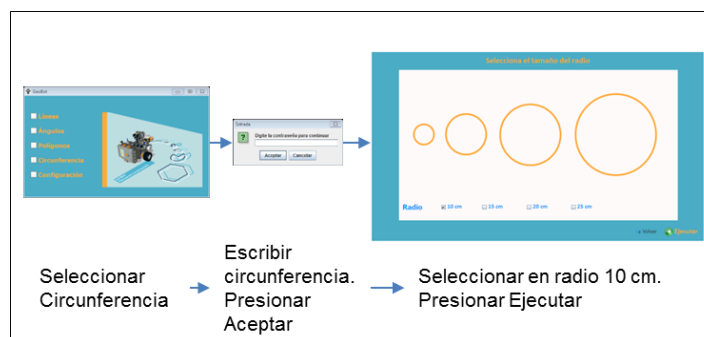


Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft PowerPoint.

Figura 120. Posición inicial de robot y resultado de ejecutar los pasos mencionados para dibujar un pentágono de lado 10 centímetros.

#### 6.2.4. Circunferencia

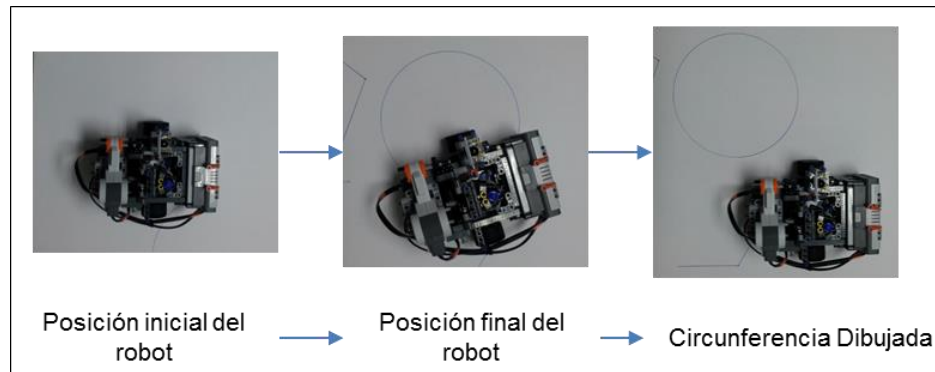
En la siguiente figura, se muestran los pasos que se requieren ejecutar en la aplicación GeoBot, para comprobar que este funciona de manera correcta cuando se desea dibujar una circunferencia.



Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft PowerPoint.

Figura 121. Secuencia de comandos en la aplicación Geobot para que el robot dibuje una circunferencia de radio 10 centímetros.

Al ejecutar los pasos anteriores se obtiene como resultado que el robot dibuja la circunferencia mostrado en la siguiente figura:



Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft PowerPoint.

Figura 122. Posición inicial de robot y resultado de ejecutar los pasos mencionados para dibujar un pentágono de lado 10 centímetros.

### 6.3. Presentación a docentes de primaria

Se realizó una presentación a docentes de primaria en la Escuela Franklin Delano Roosevelt ubicada en San Pedro de Montes de Oca, la cual es una escuela pública fundada hace 119 años (ver Figura 123). A estos se les mostró el robot diseñado en funcionamiento, luego se procedió a una ronda de preguntas y finalmente se les aplicó una encuesta, cuyos resultados se muestran a continuación.



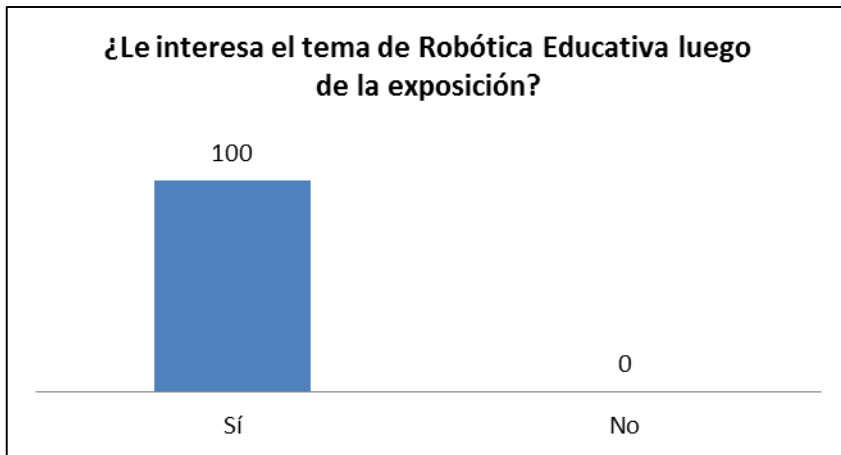
Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft PowerPoint.

Figura 123. Prueba del Robot en la Escuela Franklin Delano Roosevelt.

La encuesta se aplicó a dieciséis profesores del área de matemática de la escuela Roosevelt, todos de primero, segundo y tercer año de escuela.

De manera general, el 81% de los encuestados aseguraron conocer los cambios propuestos por el MEP en sus planes de estudio. Además, el 69% de los profesores aseguraron conocer acerca de herramientas no tradicionales para la enseñanza de la matemática. Entre las que mencionaron con mayor frecuencia, se encuentran: “juegos”, “software”, “bloques multibase” y otras.

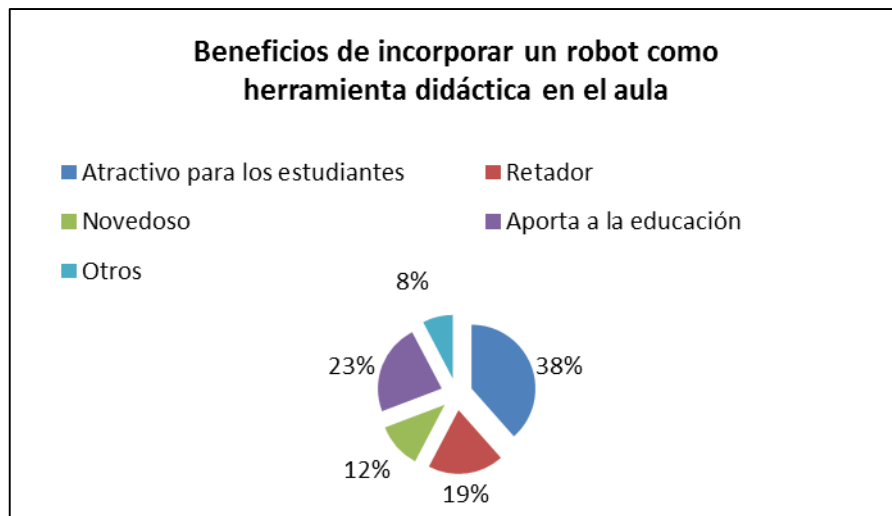
El 81% también asegura haber escuchado de robótica educativa anteriormente; luego de la exposición, el 100% manifiesta estar interesado en este tema.



Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Excel.

Figura 124. Nivel de interés en la Robótica Educativa luego de la exposición

Ante la pregunta: ¿Considera que su clase se puede beneficiar de la incorporación de un robot como herramienta didáctica?, los resultados categorizados se muestran en la siguiente gráfica:



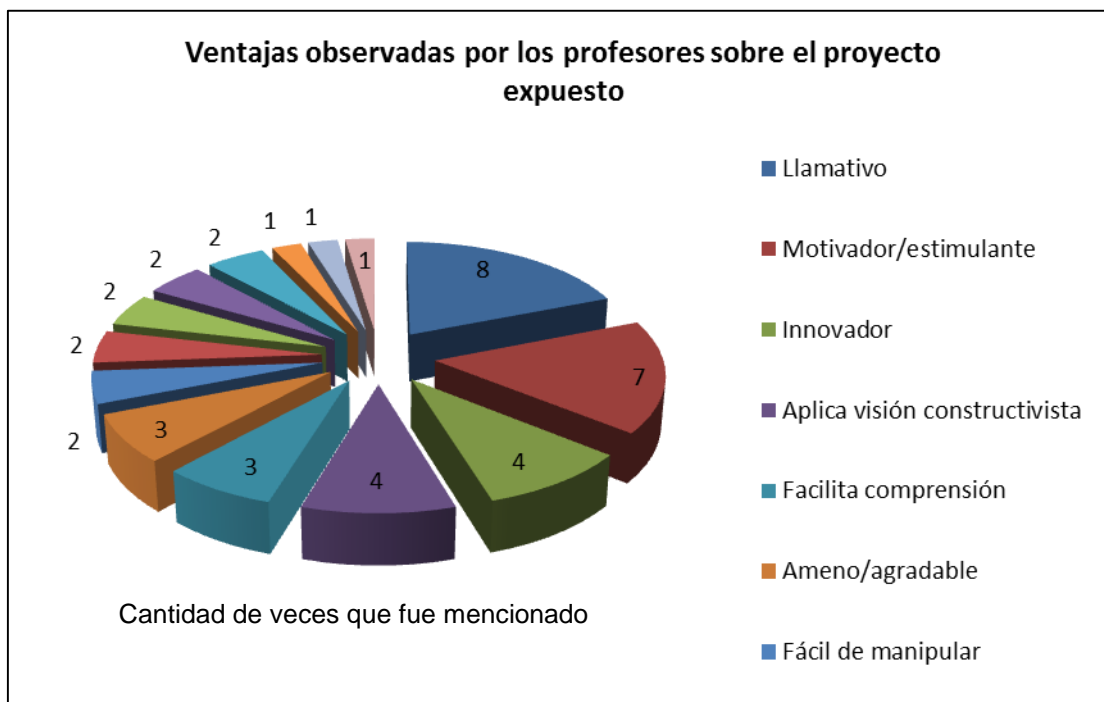
Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Excel.

Figura 125 Beneficios que puede obtener una clase de Matemática utilizando el robot propuesto.

Los resultados se clasificaron según las tendencias observadas en las respuestas y se muestra que el principal beneficio es que es una herramienta atractiva para los estudiantes. También es visto como retador para el alumno y novedoso, y un 23% del total de ventajas lo considera como un aporte para la educación. Por otra parte, un 44% de los encuestados asegura haber trabajado con algún tipo de LEGO anteriormente.

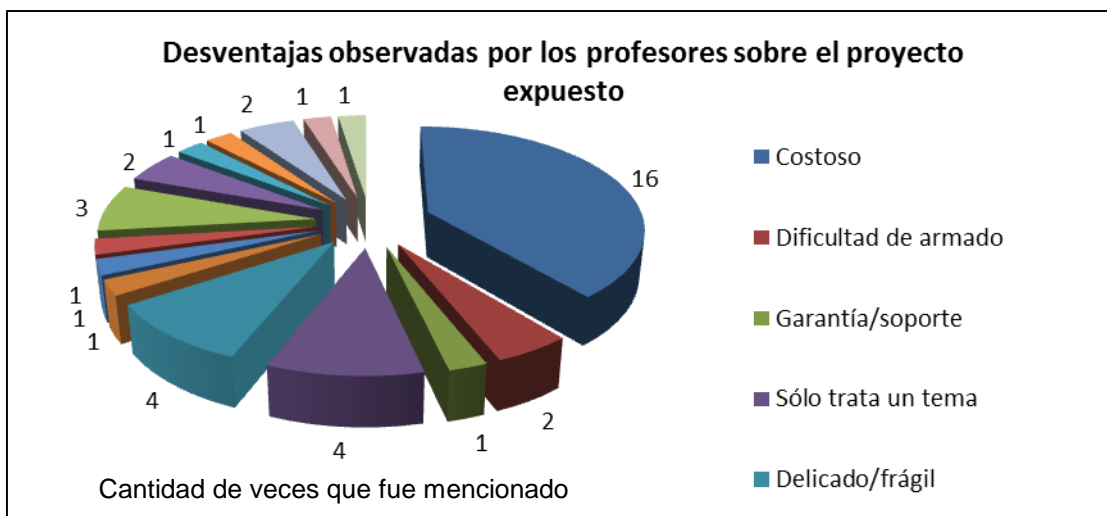
Se les pidió enumerar las principales ventajas y desventajas que observan del proyecto; los resultados se muestran en las siguientes dos gráficas.

Estas gráficas representan las principales categorías en las que se pueden clasificar las respuestas. Es posible observar como los profesores ven como positivo lo “llamativo” e “innovador”, así como también lo “motivador/estimulante” que puede ser. Al mismo tiempo lo destacan por “aplicar la visión constructivista”, y algunos también destacan que puede facilitar la comprensión de los contenidos.



Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Excel.

Figura 126. Ventajas del proyecto expuesto.



Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Excel.

Figura 127. Desventajas del proyecto expuesto.

En cuanto a las desventajas, se señala de manera contundente, el precio como su principal. Luego se encuentra la fragilidad del aparato, ya que se debe tomar en cuenta que será operado por niños. También varios mencionan que ven negativo que sólo se pueda usar para un tema.

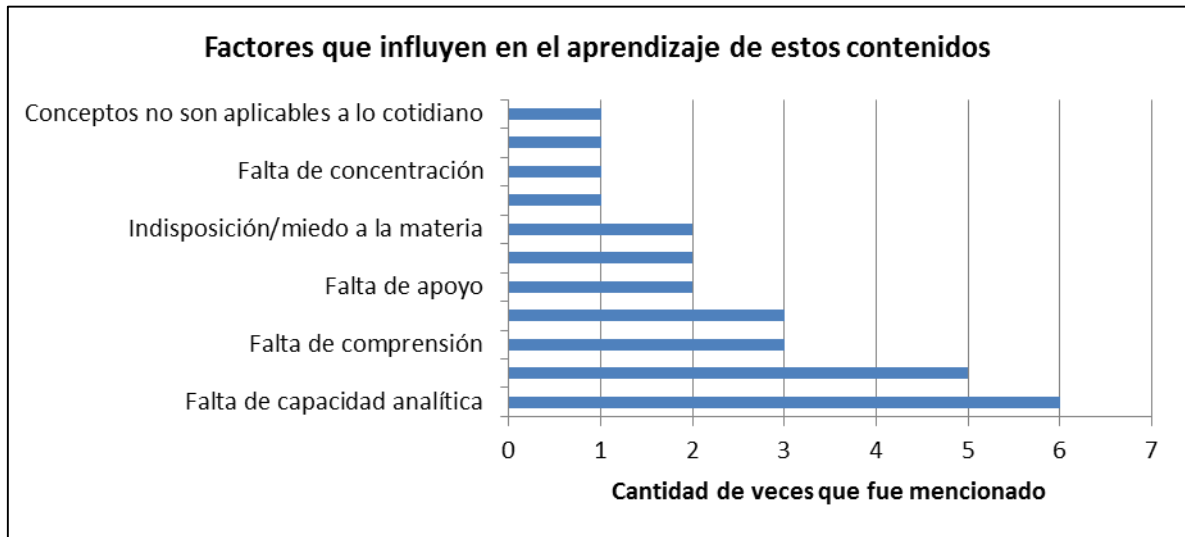


Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Excel.

Figura 128. Contenidos de Matemática que presentan mayores dificultades entre los alumnos.

También se preguntó acerca de los contenidos de Matemáticas que presentan mayores dificultades entre sus alumnos. La geometría fue el más citado con 10 menciones, luego las operaciones fundamentales con 8, y a estos los sigue la resolución de problemas con 6.

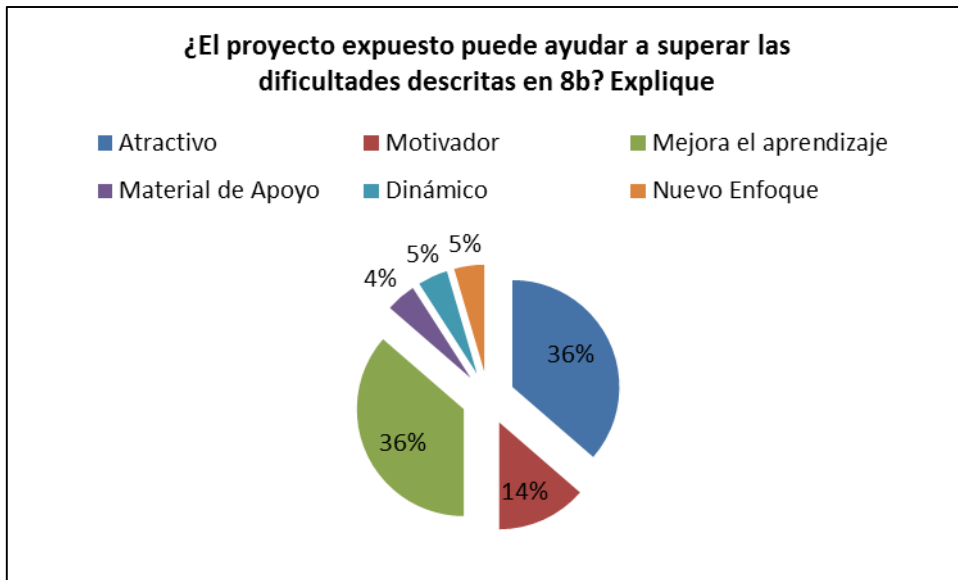
Se les pidió citar las principales causas de los problemas anteriormente mencionados. Para efectos de presentación se tabularon en siguientes categorías:



Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Excel.

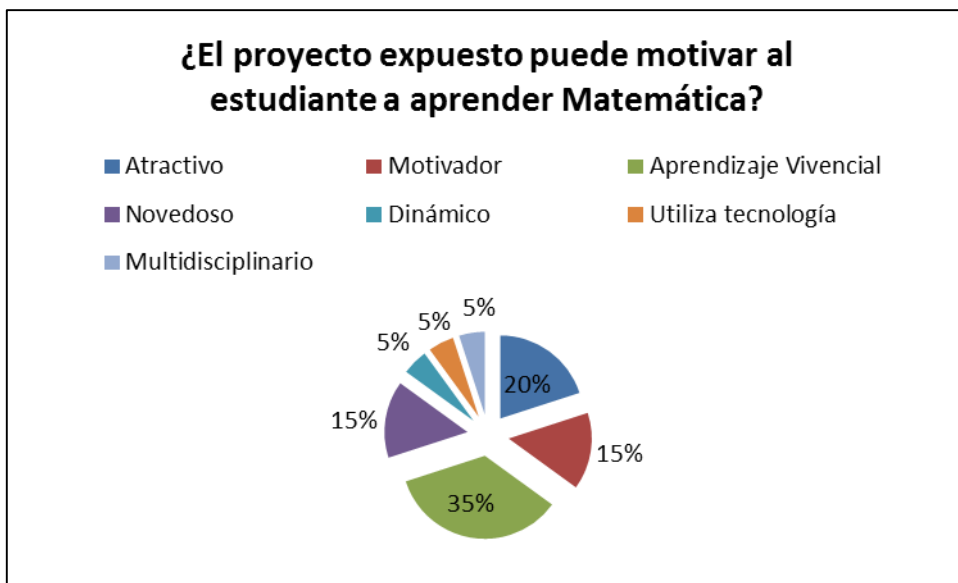
Figura 129. Factores que influyen en el aprendizaje de los contenidos más problemáticos.

Dentro de los factores más influyentes se encuentran la falta de capacidad analítica, el uso que se le dé a las herramientas, la falta de capacidad de abstracción. Con respecto a lo anterior, el 100% de los encuestados asegura que este proyecto ayudaría a superar las dificultades antes mencionadas, gracias a que es atractivo para los niños, los puede motivar y mejora el proceso educativo.



Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Excel.

Figura 130. Capacidad del proyecto para solventar los principales problemas experimentados en las clases de Matemática.

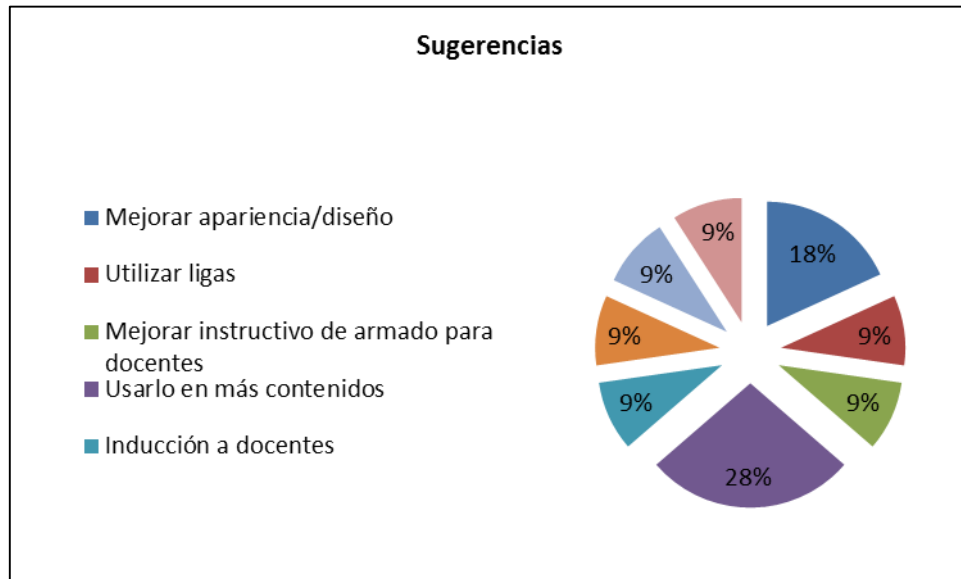


Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Excel

Figura 131. Capacidad del proyecto para motivar a los estudiantes a aprender Matemática.

Por otra parte, todos los encuestados mencionan que el proyecto es capaz de motivar a estudiar Matemáticas y destacan como es capaz de generar un aprendizaje vivencial en los alumnos. Todo esto se muestra en la Figura 131.

Finalmente, el 100% de los encuestados aseguran que aplicarían el proyecto en su aula. Tres personas mencionaron que estaría condicionado a que le proporcionen todo el material, sin tener que comprarlo ellos.



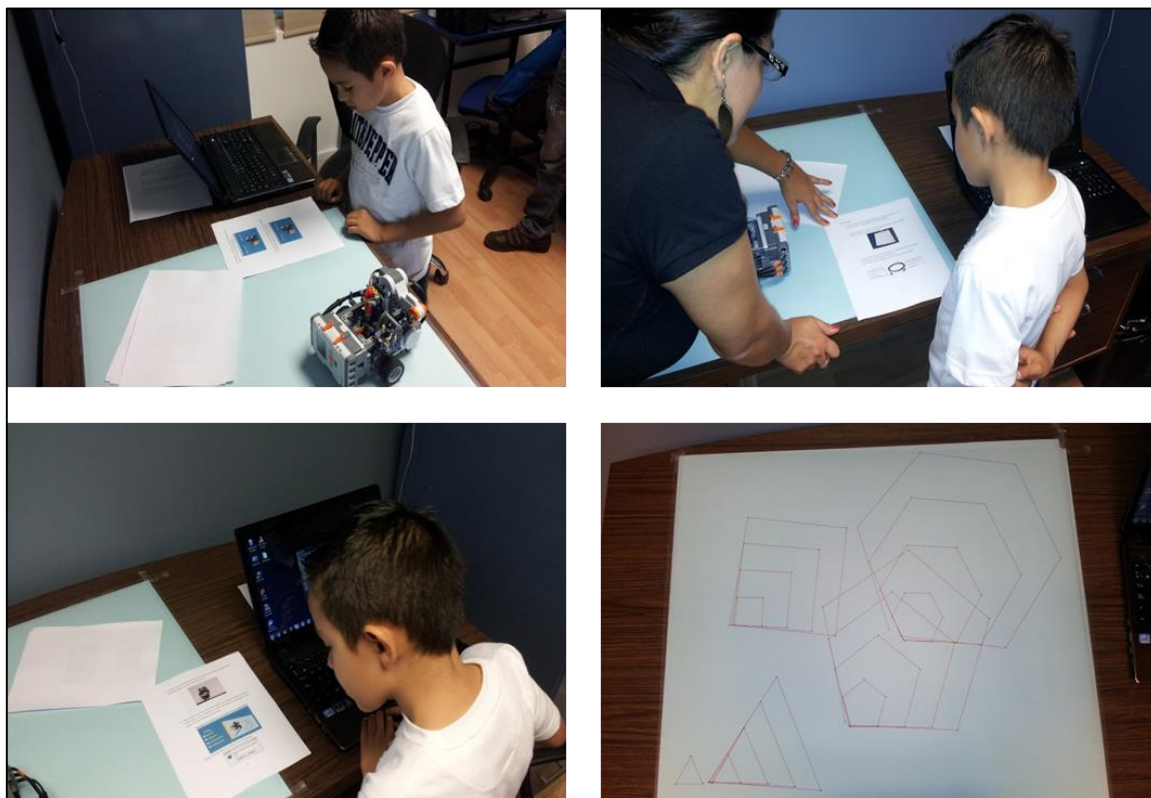
Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Excel

Figura 132. Principales sugerencias planteadas.

Como sugerencias principales, se menciona la posibilidad de utilizarlo para más contenidos, no sólo geometría. Además se considera que la apariencia del robot puede ser mejorada para hacerlo más atractivo para un niño. En menor medida se mencionó, hacerlo más accesible para personas con discapacidad cognitiva y dar una inducción a los docentes.

## 6.4. Prueba piloto con un estudiante

Se ejecutó una prueba piloto con el estudiante Jonathan Barrantes Segovia de 8 años de edad, alumno de la Escuela Central de Tres Ríos.



Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft PowerPoint.

Figura 133. Prueba piloto con un estudiante.

La prueba consistió en simular la ejecución de las guías en un aula, con un estudiante y un profesor. Se ejecutaron los contenidos de la guía del estudiante, para las actividades 1 y 3.

En un inicio el estudiante se mostró distante y nervioso, pero con el pasar de los minutos fue adquiriendo confianza. Durante la actividad de líneas, el estudiante necesitó tiempo para entender la forma en que el robot debe rotar para dibujar

cada una de las líneas. Además mostró cierta dificultad para diferenciar la derecha de la izquierda. Sin embargo, una vez que se le brindó la orientación adecuada estos problemas no fueron tan frecuentes.

La actividad reto del contenido de líneas rectas y curvas, la cual consiste en una dibujar una línea continua compuesta por segmentos curvos y rectos, dibujados en diferentes orientaciones, fue completada sin mayor problema por el estudiante.

Es importante recalcar que el uso de la interfaz no requirió ningún tipo de explicación para que el estudiante la comprendiese.

Para el momento en que se ejecutó la actividad de polígonos, él mostraba un mayor interés sobre la actividad y se le observó tomar el control de la situación. Lo anterior hizo necesario que el profesor participase, solamente cuando el niño solicitó ayuda.

Durante la ejecución de la actividad reto del contenido de polígonos, el estudiante mostró interés por el robot en sí y su construcción, además de asegurar que le parecía divertido utilizarlo para aprender. Estos contenidos no los conocía, pues en la escuela todavía no se los han explicado; sin embargo esto no presentó un problema y los entendió sin mayor dificultad.

Al final de las actividades, al estudiante se le realizaron varias preguntas. El manifestó sentirse más alegre aprendiendo con el robot y, por tanto, le gusta más haber aprendido de esta manera que de la manera tradicional. Además aprendió conceptos nuevos como pentágonos y hexágonos, la cantidad de lados y vértices en cada uno. También se mostró muy interesado en armar robots con LEGO en un futuro.

Finalmente sugiere que los conceptos de líneas rectas y curvas se encuentren en un mismo lugar de la interfaz.

## 6.5 Discusión

En el presente capítulo se realizó la prueba de funcionamiento de los productos; primero se llevó a cabo la prueba del robot, donde se demostró que el aparato construido realizaba en forma correcta las tareas que se le asignaban. Por ejemplo, si se le solicitaba dibujar una línea recta que midiera 10 cm, el resultado era esa línea con una longitud lo más aproximada a la solicitada.

Para asegurar lo anterior, se realizaron 30 muestras de dicha línea y se analizaron estadísticamente para poder sugerir un intervalo de confianza del 95%, donde se encontraría la media y desviación estándar de futuras pruebas. Además se sugiere un intervalo de tolerancia donde se asegura que se encontrarán las medidas de las líneas futuras en el 95% de las ocasiones.

De igual manera se procedió para las líneas de 5, 15 y 20 cm, para los ángulos de 15°, 30°, 60°, 90°, 108°, 120° y 150° y para las circunferencias con un radio de 10, 15 y 20 cm. En el caso de los ángulos y las circunferencia se hizo necesario calcular un factor de corrección ya que los datos iniciales se encontraban algo alejados de lo esperado, pero luego de utilizar dicho factor de corrección, los resultados mejoraron notablemente.

Como paso siguiente se realizó la prueba de funcionamiento de la aplicación GeoBot que controla el robot. Esta consistió en examen de este, para demostrar que el acceso y salida de las ventanas era lo que se esperaba, al igual que la ejecución de una acción y la salida del programa. En este caso se mostraron en el capítulo, cuatro pruebas: el trazo de una línea curva, un ángulo, un polígono y un círculo; en todas las pruebas se muestran las ventanas recorridas y el resultado final realizado por el robot.

Además se realizó una presentación ante profesores de primaria en la Escuela Franklin Delano Roosevelt en San Pedro de Montes de Oca. Los resultados de la encuesta aplicada a dichos docentes reflejan un alto interés por parte de ellos en el tema de la robótica educativa. Consideran que sus clases se pueden beneficiar

por la incorporación de este robot, pues entre las ventajas citadas, se encuentran lo motivador y estimulante que resultaría para los alumnos, además de aplicar una visión constructivista para la enseñanza de los contenidos propuestos.

Por otra parte, el costo es mencionado por todos como una desventaja, seguido por el hecho de usarse para un tema a la vez y la fragilidad que puede presentar al ser operado por niños.

Un resultado interesante, es el hecho de que la geometría fue mencionada en más oportunidades, como el contenido que presenta mayor dificultad para los alumnos de primero, segundo y tercer grados. Y en opinión de los entrevistados, los factores más relevantes que influyen en los mayores problemas observados, son la falta de capacidad analítica, la forma en que se usen las herramientas y la falta de capacidad de abstracción.

Además, todos coinciden en que este proyecto es capaz de solventar los problemas presentes en el aprendizaje de la geometría, así como motivar a sus alumnos al estudio de la Matemática.

Dentro de las principales sugerencias dadas por los docentes, se encuentran mejorar su apariencia para hacerlo más cercano a un niño, utilizar materiales más accesibles, utilizarlo en una cantidad más amplia de contenidos y capacitar a los docentes antes de comenzar a utilizarlo.

Finalmente, en la prueba piloto con el estudiante fue posible notar un interés de este sobre el tema de la robótica. Además, los problemas que tuvo el niño durante la prueba, fueron solucionados mediante asistencia del profesor.

# CAPÍTULO 7.

## Conclusiones

---

- Se identificaron los siguientes conocimientos y habilidades de la asignatura de matemática del programa de educación primaria, como ideales para ser enseñado a niños de educación primaria mediante el uso del LEGO Mindstorms.

Contenidos	Habilidades
Líneas rectas Líneas curvas	Identificar y trazar líneas rectas y curvas.
Ángulos	Trazar ángulos y reconocer sus elementos: lado, vértice. Reconocer ángulos en dibujos y objetos del entorno.
Polígonos	Clasificar polígonos según el número de sus lados: triángulo, cuadrilátero, pentágono y hexágono.
Circunferencias	Identificar y trazar circunferencias. Reconocer el radio y el diámetro de circunferencias.

- Se diseñaron actividades con el LEGO Mindstorms, basadas en los conocimientos y habilidades identificadas.
- Se diseñó, construyó y ajustó el comportamiento de un robot con ruedas de configuración diferencial, capaz de ejecutar las actividades diseñadas.
- Se diseñó un manual de construcción del robot, enfocado en las necesidades del docente.

- Se diseñó un programa de computadora que permite el control del robot de manera sencilla e intuitiva, por parte del profesor y el estudiante.
- Se creó un instructivo de ajuste del comportamiento del robot, para que lo utilice el docente luego de construir el robot.
- Se diseñaron cuatro guías de trabajo para que los estudiantes realicen las actividades utilizando el robot diseñado.
- Se diseñaron cuatro guías de trabajo para los docentes, capaces de orientarlos en el uso de las guías de trabajo creadas para los estudiantes.
- Se probó el nivel de aceptación de la propuesta ante un grupo de profesores pertenecientes a la Escuela Franklin Delano Roosevelt.
- Se probó el nivel de comprensión de las actividades diseñadas, por parte de un estudiante de segundo grado de escuela.
- Se identificó al costo, al uso exclusivo del robot para el tema de geometría, y la posible fragilidad del robot ante una manipulación agresiva de un niño, como las principales desventajas que presenta el proyecto, según la opinión de los docentes encuestados.
- Se identificaron el aspecto motivador y la aplicación de la visión constructivista como las principales ventajas que presenta el proyecto, según la opinión de los docentes encuestados.

# CAPÍTULO 8.

## Recomendaciones

---

- Reducir el costo del proyecto, mediante un patrocinador que pueda aportar los equipos de construcción LEGO, con el fin de que las escuelas participantes no incurran en este gasto.
- Investigar la posibilidad de rediseñar el robot para poder construirlo solo utilizando el “LEGO MINDSTORMS Education NXT Base Set” #ref 9797, con el fin de abaratar costos.
- Investigar la posibilidad de utilizar material de desecho en el desarrollo de los robots, con el fin de abaratar costos.
- Investigar la posibilidad de incorporar otras habilidades específicas de los contenidos ya mencionados, para ser enseñados mediante el robot actual. Por ejemplo rectas paralelas y perpendiculares, rectas verticales, horizontales y oblicuas, estimar medida de ángulos, medir ángulos y clasificar ángulos de acuerdo a su medida.
- Investigar la posibilidad de incorporar otros contenidos de matemática, para ser enseñados mediante el robot actual. Por ejemplo, estadística, álgebra, relaciones y proporciones.
- Investigar la posibilidad de diseñar otros robots capaces de ser utilizados en la enseñanza de otros contenidos de matemática.
- Incorporar a profesionales de diversas áreas de la ciencia para valorar su uso en otras áreas de conocimiento.

- Presentar la propuesta en escuelas de diversas condiciones socioeconómicas, para obtener una muestra más significativa acerca de la percepción de los profesores con respecto al proyecto.
- Desarrollar un plan de capacitación para los profesores de primaria que deseen incorporar el proyecto, que incluya inducción en construcción con LEGO, Robótica Educativa y se les explique la forma en que se deben usar las guías de trabajo.
- Desarrollar un centro de asistencia para las escuelas que apliquen el proyecto, de manera que cuenten con una forma de solucionar los problemas o resolver las dudas que se presenten.
- Plantear ante la Escuela de Ingeniería Electromecánica el desarrollo de una línea de investigación llamada “Desarrollo de Tecnología aplicada”, en la cual se pueda participar en la creación de soluciones tecnológicas para otras escuelas del Tecnológico de Costa Rica.
- Plantear ante la Escuela de Matemática la adquisición de equipo de robótica, para brindar capacitación a docentes de primaria en el uso de la robótica como una herramienta en la enseñanza de la Matemática. Dicha capacitación se puede llevar a cabo en los diferentes congresos que la escuela realiza o participa.

# BIBLIOGRAFÍA

---

- La educación Matemática en Costa Rica: Ideas y Recomendaciones. (2007). *Cuadernos de Investigación y Formación en Educación Matemática* (págs. 189-197). San José: Centro de Investigaciones Matemáticas y Meta-Matemáticas.
- Acuña Zúñiga, A. L. (2006). Robótica: espacios creativos para el desarrollo de habilidades en diseño para niños, niñas y jóvenes en América Latina. // *Jornada de Informática Educativa y Tecnología Educativa*. Santa Ana de Coro.
- Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica. (02 de 10 de 1957). Decreto N° 2160, Ley Fundamental de Educación. San José , Costa Rica: Departamento de Servicios Parlamentarios, Unidad de Actualización Normativa.
- Astolfo, D., Ferrari, M., & Ferrari, G. (2007). *Building Robots with LEGO Mindstorms NXT*. Burlington: Syngress Publishing, Inc.
- Barrantes Campos, H., Chaves Esquivel, E., De Faria Campos, E., Poveda Vásquez, R., González Ortega, M., Hernández Solís, L. A., y otros. (Marzo de 2012). Programa de Estudio de Matemáticas, 2013-2014. San José, San José, Costa Rica.
- Calero Pérez, M. (2008). *Constructivismo Pedagógico*. México, D.F.: Alfaomega.
- Candia B, R., & Caiozzi A, G. (2005). Intervalos de confianza. *Revista Médica de Chile*, 1111-1115.
- Carvajal Granados, A. C., Jaimes Tobo, A., Mora Azofeifa, R., Muñoz Jimenez, O., Flores Cornejo, A., Cedeño Granados, H., y otros. (2011). *Informe Nacional:*

*Pruebas Nacionales Diagnósticas III Ciclo de la Educación General Básica, 2010.* San José: Dirección de Gestión y Evaluación de Calidad.

Clark, M. L. (2004). Los valores de P y los intervalos de confianza: ¿en qué confiar? *Revista Panamericana de Salud Pública*, 293-296.

Cordero, F. M. (23 de 11 de 2009). *www.prensalibre.cr*. Recuperado el 29 de 06 de 2012, de <http://www2.prensalibre.cr/pl/suceso/14112-programa-de-robotica-y-aprendizaje-por-diseno-avanza-entre-los-costarricenses.html>

Dapena, E. (2012). Unidad III, Tema 1, Introducción. *Material de clase, Curso de Robótica y Automatización*. Merida, Venezuela: Universidad de los Andes.

Dapena, E. (2012). Unidad III, Tema 2, Locomoción. *Material de clase, Curso de Robótica y Automatización*. Merida, Venezuela: Universidad de los Andes.

Dapena, E. (s.f.). *Web del profesor, Curso de Robotica, Maestría en Sistemas Modernos de Manufactura*. Recuperado el 09 de 07 de 2012, de Instituto Tecnológico de Costa Rica: [http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/eladio/TEC\\_AUTO\\_ROBOTICA.htm](http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/eladio/TEC_AUTO_ROBOTICA.htm)

Gamboa Araya, R., & Ballesteros Alfaro, E. (15 de Diciembre de 2010). La enseñanza y aprendizaje de la geometría en secundaria, la perspectiva de los estudiantes. *Revista Electrónica Educare*, XIV(2), 125-142.

Gómez Barrantes, M. (2010). *Elementos de Estadística Descriptiva*. San José, Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia.

González, J. J., & Jiménez B., J. A. (2009). La robótica como herramienta para la educación y la ingeniería. *Revista Iberoamericana de Informática Educativa*, 31-36.

Hernández Rojas, G. (1997). *Módulo Fundamentos del Desarrollo de la Tecnología Educativa (Bases Psicopedagógicas)*. México: ILCE-OEA.

- Jiménez Builes, J. A., Ramírez Patiño, J. F., & Gonzalez España, J. J. (2011). Sistema modular de robótica colaborativa aplicado en educación. *Revista de la Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia N° 58*, 163-172.
- Llobet, G. (2012). Costa Rica y su modelo de atracción de inversión extranjera directa. *Segundo Congreso Ambiental*, (págs. 1-24). San José, Costa Rica.
- Luko, S., & Neubauer, D. (2011). Los intervalos estadísticos. *ASTM Standardization News*.
- Montañéz, T., González, C., García, M., & Escalante, M. (2009). Cálculo Diferencial con Aprendizaje por Proyecto Empleando MatLab y Robots LEGO NXT. *La Conferencia Conjunta Iberoamericana sobre Tecnologías de Aprendizaje*. México: Universidad Autónoma de Yucatán.
- Montañéz, T., Gonzalez, C., García, M., & Escalante, M. (2009). Evolución de un curso de Cálculo Diferencial, desde la enseñanza tradicional hasta el uso de simuladores y tecnología robótica. *Tercer Encuentro Nacional y Primer Internacional Sobre la Enseñanza del Cálculo*. Saltillo, Coahuila: Universidad Autónoma de Yucatán.
- Mora Valverde, M. (2008). *Fórmulas y tablas estadísticas*. San José,. Costa Rica: Editorial UCR.
- Mora, A. (2006). *Obstáculos epistemológicos que afectan el proceso de construcción de conceptos del área de ciencias en niños de edad escolar*. Recuperado el 13 de setiembre de 2012, de Fundación para el Centro Nacional de la Ciencia y la Tecnología, CIENTEC: <http://www.cientec.or.cr/exploraciones/ponenciaspdf/ArabelaMora2.pdf>
- Morales, P. (2007). *La distribución normal*. Madrid, España: Universidad Pontificia Comillas.

- National Council of Teachers of Mathematics [NCTM]. (2012). *National Council of Teachers of Mathematics*. Recuperado el 09 de 07 de 2012, de <http://www.nctm.org/standards/content.aspx?id=16909>
- Posada Valdín, F., & Sepúlveda Palacio, J. (2004). La Robótica en la Educación Matemática. *VII Congreso Colombiano de la Informática Educativa*.
- Pozo, J. (2003). *Teorías Cognitivas de Aprendizaje*. Madrid: Morata.
- Ribeiro, C., Coutinho, C., & Costa, M. F. (2011). A Robótica Educativa como Ferramenta Pedagógica na Resolução de Problemas de Matemática no Ensino Básico. *Universidade de Minho*, 440-445.
- Ruiz del Solar, J., & Salazar, R. (s.f.). *Introducción a la Robótica, Curso EL63G, Universidad de Chile*. Recuperado el 09 de 07 de 2012, de <http://robotica.li2.uchile.cl/EL63G/capitulo1.pdf>
- Ruiz, A. (2006). *Universalización de la Educación Secundaria y Reforma Educativa*. San José: Editorial Universidad de Costa Rica.
- Sánchez Colorado, M. M. (s.f.). *Ambientes de aprendizaje con Robótica Educativa. Universidad de los Andes*.
- Sarabia Alegría, J. M., & Pascual Sáez, M. (2005). *Curso básico de estadística para economía y administración de empresas*. Cantabria, España: Servicios de publicaciones de la Universidad de Cantabria.
- Segura, R. C. (2010). *¡Manos Arriba!* México D.F.: ST Editorial.
- Tec, B., Uc, J., Gonzalez, C., García, M., Escalante, M., & Montañez, T. (2010). Análisis Comparativo de dos Formas de Enseñar Matemáticas Básicas: Robots LEGO NXT y Animación con Scratch. *Conferencia Conjunta Iberoamericana sobre Tecnologías de Aprendizaje*. Mérida, Yucatán.
- Trejos Zelaya, J., & Moya Vargas, E. (2003). *Introducción a la Estadística Descriptiva*. San Jose, Costa Rica: Universidad Latina de Costa Rica.

Vargas, M., Rodríguez, M., Rodríguez, L., & Rojas, L. (s.f.). *Programas de Matemáticas Segundo Ciclo Educación General Básica*. San José, San José, Costa Rica.

Villegas, J. (2 de Abril de 2011). *Jóvenes huyen de las carreras con más opciones de trabajo*. Recuperado el 20 de Marzo de 2013, de Nacion.com: <http://www.nacion.com/2011-04-02/EIPais/NotaPrincipal/EIPais2732041.aspx>

Villegas, J. (2 de Abril de 2011). *Pánico a matemática le quita atractivo a las ingenierías*. Recuperado el 2013 de Marzo de 2013, de Nacion.com: <http://www.nacion.com/2011-04-02/EIPais/Relacionados/EIPais2732058.aspx>

Walpole, R., Myers, R., & Myers, S. (1999). *Probabilidad y estadística para ingeniería*. México: Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A.

# APÉNDICE

---

## Apéndice A. Guía de trabajo para el docente

### **Actividad 1: Trazar e identificar líneas rectas y curvas**

#### Guía para el docente

**Nivel:** Primer nivel, primer ciclo

**Tema:** Líneas rectas y curvas

**Actividad:** Trazar e identificar líneas rectas y curvas

**Técnica:** Robótica educativa

#### Objetivos

El estudiante será capaz de:

- Controlar los movimientos del robot GeoBot mediante una interfaz generada en Java.
- Trazar líneas rectas utilizando al robot GeoBot.
- Trazar líneas curvas utilizando al robot GeoBot.
- Identificar líneas rectas y curvas en objetos que se encuentren en el aula o fuera de esta.

#### Conocimientos previos de los estudiantes

- Saber leer.
- Uso básico de Windows (XP o Vista): abrir archivos, uso del mouse.

## **Otros propósitos educativos**

- Motivar a los y las estudiantes en el uso de la tecnología y la robótica para el aprendizaje de la matemática.
- Desarrollar la motora fina de los y las estudiantes a través del uso de la computadora y del robot.
- Fomentar el trabajo independiente y participativo en el aula.

## **Recursos didácticos**

### **Computacionales**

- Programas residentes en la computadora: Windows (XP o Vista), Java.
- Aplicación computacional: GeoBot.

### **Para el estudiante**

- Guía de trabajo para el estudiante, del tema: Líneas rectas y curvas. Consiste en un material impreso, donde se le dan una serie de instrucciones con el fin de conseguir los objetivos de la actividad.
- Lápiz o lapicero.
- Un robot que dibuja (GeoBot), construido con LEGO MINDSTORMS para cada pareja de alumnos, las instrucciones de armado se adjuntan en el archivo llamado: GeoBot\_ManualdeConstruccion.pdf.
- El cable de descarga USB para cada uno de los robots.
- Un marcador con un diámetro de 1 cm aproximadamente por robot. Este marcador debe estar colocado en el soporte para marcador del robot.
- Una computadora portátil para cada pareja de estudiantes.
- Tres pliegos de papel por pareja de estudiantes; las dimensiones deben ser:
  - 50 cm por 40 cm.

- 70 cm por 45 cm.
- 60 cm por 50 cm.
- Una cinta adhesiva o *masking tape*.

### Requerimientos del aula

- Mesas planas y horizontales de trabajo con dimensiones de 1 m de largo por 70 cm de ancho, para cada pareja de estudiantes. Las mesas pueden ser similares a las de la siguiente fotografía.



También puede ser una o varias mesas más grandes colocadas en el centro del aula y que los estudiantes trabajen alrededor.



- Tomacorrientes cercanos a las mesas de trabajo, para las computadoras portátiles.

## Recomendaciones

- Entregue una guía a cada pareja de estudiantes.
- Lleve guías adicionales, por si algún estudiante rompe, ensucia o mancha el material que se le entregará.
- Los robots deben de estar contruidos y el marcador (pilot) cuando se encuentre ajustado al soporte, debe ajustarse su posición para que cuando se ejecuten los movimientos, logre llegar hasta el pliego de papel y pueda dibujar.
- Las baterías de los robots deben estar cargadas.
- Lleve pliegos de papel adicionales, por si algún estudiante necesita más.

## Desarrollo de la lección (45 minutos)

Esta actividad consiste en un ejercicio donde se le solicita al estudiante que trabaje con un robot para dibujar varias líneas rectas y curvas, en diferentes direcciones y de diferentes tamaños. Ello, con el fin de que al ver los trazos que hace el robot, el estudiante pueda comprender la diferencia entre una línea recta y una línea curva. Además se le solicitará que realice una figura (que se le muestra), utilizando el robot, la cual está formada por rectas y curvas. Para lograr lo anterior, cada pareja de estudiantes debe trabajar en una computadora y con un robot siguiendo las instrucciones en la guía de aprendizaje correspondiente.

### Inicio de la actividad (10 minutos)

El docente

Explica a los alumnos los objetivos que se persiguen con el desarrollo de la actividad propuesta y resalta los siguientes aspectos:

- Se debe trabajar, manteniendo el orden y el aseo, con el material que se le entregará y utilizando sus propios instrumentos de trabajo.
- Los alumnos deben leer con detenimiento las instrucciones que se les brindan y respetar la secuencia de los pasos.
- Anotar en la guía lo que se solicite.

- Si en algún paso tienen duda, levanten la mano para que el docente le atienda en forma individual y no interrumpen a sus compañeros.
- El trabajo que realicen en el pliego de papel será calificado por el docente en el transcurso de la clase.
- Se debe tener cuidado en la colocación inicial del robot sobre el pliego de papel, ya que podría salirse de este mientras dibuja y caerse de la mesa de trabajo.
- Instrucciones de cómo abrir el archivo para trabajar.  
Para abrir el archivo: GeoBot Líneas, entre a la carpeta donde el docente haya guardado el archivo (el docente también puede dejarlo en el escritorio para mayor facilidad) y haga doble click sobre el archivo con el nombre GeoBot Líneas.

Desarrollo de la actividad (30 minutos)

El docente hace entrega a cada pareja de estudiantes de:

- La “Guía de trabajo para el estudiante. Tema: Líneas rectas y curvas”.
- La computadora portátil.
- El robot GeoBot.
- El cable USB.
- Uno de los pliegos de papel para dibujar; otro se entrega hasta que se vayan a dibujar las líneas curvas y el último se entrega hasta que se vaya a construir la figura formada por rectas y curvas.
- La cinta adhesiva o *masking tape*.

Una vez que ha entregado el material, indicar a los y las estudiantes que pueden iniciar; se mantiene supervisando la disciplina y aclarando cualquier duda.

Cierre de la actividad (5 minutos)

El docente pega en la pizarra los pliegos de papel con el trabajo de cada pareja para hacer una revisión de lo realizado, a fin de que todos los alumnos puedan ver el trabajo de los demás compañeros. Comenta con los estudiantes aspectos relevantes e interesantes de la actividad.

**Observaciones**

---

---

---

---

---

## **Actividad 2: Trazar ángulos y reconocer sus elementos: lado y vértice**

### **Guía para el docente**

**Nivel:** Tercer nivel, primer ciclo

**Tema:** Ángulos

**Actividad:** Trazar ángulos y reconocer sus elementos: lado y vértice

**Técnica:** Robótica educativa

### **Objetivos**

El estudiante será capaz de:

- Controlar los movimientos del robot GeoBot mediante una interfaz generada en Java.
- Trazar ángulos utilizando al robot GeoBot.
- Identificar los elementos del ángulo: vértice y lado.
- Identificar ángulos en objetos que se encuentren en el aula o fuera de esta.

### **Conocimientos previos de los estudiantes**

- Saber leer.
- Línea recta.
- Punto.
- Uso básico de Windows (XP o Vista): abrir archivos, uso del mouse.

## Otros propósitos educativos

- Motivar a los y las estudiantes en el uso de la tecnología y la robótica para el aprendizaje de la matemática.
- Desarrollar la motora fina de los y las estudiantes a través del uso de la computadora y del robot.
- Fomentar el trabajo independiente y participativo en el aula.

## Recursos didácticos

### Computacionales

- Programas residentes en la computadora: Windows (XP o Vista), Java.
- Aplicación computacional: GeoBot.

### Para el estudiante

- Guía de trabajo para el estudiante, del tema: Ángulos. Consiste en un material impreso, donde se le dan una serie de instrucciones con el fin de conseguir los objetivos de la actividad.
- Lápiz o lapicero.
- Marcador rojo y azul
- Un robot que dibuja (GeoBot), construido con LEGO MINDSTORMS para cada pareja de alumnos; las instrucciones de armado se adjuntan en el archivo llamado: GeoBot\_ManualdeConstruccion.pdf.
- El cable de descarga USB para cada uno de los robots.
- Un marcador con un diámetro de 1 cm aproximadamente por robot. Este marcador debe estar colocado en el soporte para marcador del robot.
- Una computadora portátil para cada pareja de estudiantes.
- Dos pliegos de papel por pareja de estudiantes; las dimensiones deben ser:
  - 60 cm por 40 cm.
  - 60 cm por 70 cm.
- Una cinta adhesiva o *Masking tape*.

## Requerimientos del aula

- Mesas planas y horizontales de trabajo con dimensiones de 1 m de largo por 70 cm de ancho, para cada pareja de estudiantes. Las mesas pueden ser similares a las de la fotografía.



También puede ser una o varias mesas más grandes colocadas en el centro del aula y que los estudiantes trabajen alrededor.



- Tomacorrientes cercanos a las mesas de trabajo, para las computadoras portátiles.

## **Recomendaciones**

- Entregue una guía a cada pareja de estudiantes.
- Lleve guías adicionales, por si algún estudiante rompe, ensucia o mancha el material que se le entregará.
- Los robots deben de estar contruidos y el marcador cuando se encuentre ajustado al soporte de marcador debe de ajustarse su posición para que cuando se ejecuten los movimientos, este logre llegar hasta el pliego de papel y pueda dibujar.
- Las baterías de los robots deben estar cargadas.
- Lleve pliegos de papel adicionales, por si algún estudiante necesita más.

## **Desarrollo de la lección (45 minutos)**

Esta actividad consiste en un ejercicio donde se le solicita al estudiante que trabaje con un robot para dibujar varios ángulos y que pueda identificar los elementos del ángulo: lado y vértice. Además se le solicitará que realice varias figuras (que se le muestran), utilizando el robot, las cuales están formadas por ángulos diferentes. Para lograr lo anterior, cada pareja de estudiantes debe trabajar en una computadora y con un robot siguiendo las instrucciones en la guía de aprendizaje correspondiente.

### Inicio de la actividad (10 minutos)

El docente

Explica a los alumnos los objetivos que se persiguen con el desarrollo de la actividad propuesta y resalta los siguientes aspectos:

- Se debe trabajar, manteniendo el orden y el aseo, con el material que se le entregará y utilizando sus propios instrumentos de trabajo.
- Deben leer con detenimiento las instrucciones que se le brindan y respetar la secuencia de los pasos.
- Anotar en la guía lo que se solicite.

- Si en algún paso tienen duda, levanten la mano, para que el docente le atienda en forma individual y no interrumpan a sus compañeros.
- El trabajo que realicen en el pliego de papel será calificado por el docente en el transcurso de la clase.
- Se debe tener cuidado en la colocación inicial del robot sobre el pliego de papel, ya que podría salirse de este mientras dibuja y caerse de la mesa de trabajo.
- Instrucciones de cómo abrir el archivo para trabajar.  
Para abrir el archivo: GeoBotÁngulos, entre a la carpeta donde el docente haya guardado el archivo (el docente también puede dejarlo en el escritorio para mayor facilidad) y haga doble clic sobre el archivo con el nombre GeoBot Ángulos.

Desarrollo de la actividad (30 minutos)

El docente hace entrega a cada pareja de estudiantes de:

- La “Guía de trabajo para el estudiante. Tema: Ángulos”.
- La computadora portátil.
- El robot GeoBot.
- El cable USB.
- Uno de los pliegos de papel para dibujar; el otro lo entrega hasta que se vayan a construir las figuras formadas por ángulos.
- La cinta adhesiva o *Masking tape*.
- Los marcadores azul y rojo.

Una vez que ha entregado el material, indicar a los y las estudiantes que pueden iniciar y se mantiene supervisando la disciplina y aclarando cualquier duda.

Cierre de la actividad (5 minutos)

El docente pega en la pizarra los pliegos de papel con el trabajo de cada pareja para hacer una revisión de lo realizado y que todos los alumnos puedan ver el trabajo de los demás compañeros. Comenta con los estudiantes aspectos relevantes e interesantes de la actividad.

**Observaciones**

---

---

---

---

---

## **Actividad 3: Clasificar polígonos según el número de sus lados: triángulo, cuadrilátero, pentágono, hexágono.**

### **Guía para el docente**

**Nivel:** Tercer nivel, primer ciclo

**Tema:** Polígonos

**Actividad:** Clasificar polígonos según el número de sus lados: triángulo, cuadrilátero, pentágono, hexágono.

**Técnica:** Robótica educativa

### **Objetivos**

El estudiante será capaz de:

- Controlar los movimientos del robot GeoBot mediante una interfaz generada en Java.
- Trazar polígonos utilizando al robot GeoBot.
- Identificar los elementos del polígono: vértice y lado.
- Verificar que un polígono tiene igual número de lados que de vértices.
- Clasificar los polígonos según número de lados o vértices.
- Identificar polígonos en objetos que se encuentren en el aula o fuera de esta.

### **Conocimientos previos de los estudiantes**

- Saber leer.
- Ángulos en figuras planas.
- Lados y vértice de un ángulo.
- Uso básico de Windows (XP o Vista): abrir archivos, uso del mouse.

## **Otros propósitos educativos**

- Motivar a los y las estudiantes en el uso de la tecnología y la robótica para el aprendizaje de la Matemática.
- Desarrollar la motora fina de los y las estudiantes a través del uso de la computadora y del robot.
- Fomentar el trabajo independiente y participativo en el aula.

## **Recursos didácticos**

### **Computacionales**

- Programas residentes en la computadora: Windows (XP o Vista), Java.
- Aplicación computacional: GeoBot.

### **Para el estudiante**

- Guía de trabajo para el estudiante, del tema: Polígonos. Consiste en un material impreso, donde se le dan una serie de instrucciones con el fin de conseguir los objetivos de la actividad.
- Lápiz o lapicero.
- Marcador rojo y azul
- Un robot que dibuja (GeoBot), construido con LEGO MINDSTORMS para cada pareja de alumnos, las instrucciones de armado se adjuntan en el archivo llamado: GeoBot\_ManualdeConstruccion.pdf.
- El cable de descarga USB para cada uno de los robots.
- Un marcador con un diámetro de 1 cm aproximadamente por robot. Este marcador debe estar colocado en el soporte para marcador del robot.
- Una computadora portátil para cada pareja de estudiantes.
- Dos pliegos de papel por pareja de estudiantes, las dimensiones deben ser:
  - 70 cm por 50 cm.
  - 70 cm por 70 cm.
- Una cinta adhesiva o Masking tape.

## Requerimientos del aula

- Mesas planas y horizontales de trabajo con dimensiones de 1 m de largo por 70 cm de ancho, para cada pareja de estudiantes. Las mesas pueden ser similares a las de la fotografía.



También puede ser una o varias mesas más grandes colocadas en el centro del aula y que los estudiantes trabajen alrededor.



- Tomacorrientes cercanos a las mesas de trabajo, para las computadoras portátiles.

## **Recomendaciones**

- Entregue una guía a cada pareja de estudiantes.
- Lleve guías adicionales, por si algún estudiante rompe, ensucia o mancha el material que se le entregará.
- Los robots deben de estar contruidos y el marcador cuando se encuentre ajustado al soporte respectivo, debe de ajustarse su posición para que cuando se ejecuten los movimientos, este logre llegar hasta el pliego de papel y pueda dibujar.
- Las baterías de los robots deben estar cargadas.
- Lleve pliegos de papel adicionales, por si algún estudiante necesita más.

## **Desarrollo de la lección (65 minutos)**

Esta actividad consiste en un ejercicio donde se le solicita al estudiante que trabaje con un robot para dibujar varios polígonos, identificar sus elementos: lados y vértices, así como clasificarlos de acuerdo con el número de lados o vértices. Además se le solicitará que realice varias figuras (que se le muestran), utilizando el robot, las cuales están formadas por polígonos diferentes. Para lograr lo anterior, cada pareja de estudiantes debe trabajar en una computadora y con un robot siguiendo las instrucciones en la guía de aprendizaje correspondiente.

### Inicio de la actividad (10 minutos)

#### **El docente**

Explica a los alumnos los objetivos que se persiguen con el desarrollo de la actividad propuesta y resalta los siguientes aspectos:

- Se debe trabajar, manteniendo el orden y el aseo, con el material que se le entregará y utilizando sus propios instrumentos de trabajo.
- Deben leer con detenimiento las instrucciones que se le brindan y respetar la secuencia de los pasos.
- Anota en la guía lo que se solicite.

- Si en algún paso tienen duda, levanten la mano, para que el docente le atienda en forma individual, y no interrumpan a sus compañeros.
- El trabajo que realicen en el pliego de papel será calificado por el docente en el transcurso de la clase.
- Se debe tener cuidado en la colocación inicial del robot sobre el pliego de papel, ya que podría salirse de este mientras dibuja y caerse de la mesa de trabajo.
- Instrucciones de cómo abrir el archivo para trabajar.  
Para abrir el archivo: GeoBot, entre a la carpeta donde el docente haya guardado el archivo (el docente también puede dejarlo en el escritorio para mayor facilidad) y haga doble clic sobre el archivo con el nombre GeoBot.

Desarrollo de la actividad (50 minutos)

El docente hace entrega a cada pareja de estudiantes de:

- La “Guía de trabajo para el estudiante. Tema: Polígonos”.
- La computadora portátil.
- El robot GeoBot.
- El cable USB.
- Uno de los pliegos de papel para dibujar; el otro lo entrega hasta que se vaya a construir las figuras formadas por polígonos.
- La cinta adhesiva o *Masking tape*.
- Los marcadores azul y rojo.

Una vez que ha entregado el material, indicar a los y las estudiantes que pueden iniciar; asimismo, se mantiene supervisando la disciplina y aclarando cualquier duda.

Cierre de la actividad (5 minutos)

El docente pega en la pizarra los pliegos de papel con el trabajo de cada pareja para hacer una revisión de lo realizado y que todos los alumnos puedan ver el trabajo de los demás compañeros. Comenta con los estudiantes aspectos relevantes e interesantes de la actividad.

**Observaciones**

---

---

---

---

---

## **Actividad 4: Identificar y trazar circunferencias** **Reconocer el radio y el diámetro de una circunferencia**

### **Guía para el docente**

**Nivel:** Tercer nivel, primer ciclo

**Tema:** Circunferencia

**Actividad:** Identificar y trazar circunferencias. Reconocer el radio y el diámetro de una circunferencia.

**Técnica:** Robótica educativa

### **Objetivos**

El estudiante será capaz de:

- Controlar los movimientos del robot GeoBot mediante una interfaz generada en Java.
- Trazar circunferencias utilizando al robot GeoBot.
- Identificar los elementos de la circunferencia: centro, radio y diámetro.
- Identificar circunferencias en objetos que se encuentren en el aula o fuera de esta.

### **Conocimientos previos de los estudiantes**

- Saber leer.
- Líneas curvas.
- Segmentos.
- Uso básico de Windows (XP o Vista): abrir archivos, uso del mouse.

## Otros propósitos educativos

- Motivar a los y las estudiantes en el uso de la tecnología y la robótica para el aprendizaje de la Matemática.
- Desarrollar la motora fina de los y las estudiantes a través del uso de la computadora y del robot.
- Fomentar el trabajo independiente y participativo en el aula.

## Recursos didácticos

### Computacionales

- Programas residentes en la computadora: Windows (XP o Vista), java.
- Aplicación computacional: GeoBot.

### Para el estudiante

- Guía de trabajo para el estudiante, del tema: Circunferencia. Consiste en un material impreso, donde se le dan una serie de instrucciones con el fin de conseguir los objetivos de la actividad.
- Lápiz o lapicero.
- Marcador rojo y azul.
- Regla.
- Un robot que dibuja (GeoBot), construido con LEGO MINDSTORMS para cada pareja de alumnos, las instrucciones de armado se adjuntan en el archivo llamado: GeoBot\_ManualdeConstruccion.pdf.
- El cable de descarga USB para cada uno de los robots.
- Un marcador con un diámetro de 1 cm aproximadamente por robot. Este marcador debe estar colocado en el soporte para marcador del robot.
- Una computadora portátil para cada pareja de estudiantes.
- Dos pliegos de papel por pareja de estudiantes, las dimensiones deben ser de 70 cm por 50 cm cada uno.
- Una cinta adhesiva o *Masking tape*.

## Requerimientos del aula

- Mesas planas y horizontales de trabajo con dimensiones de 1 m de largo por 70 cm de ancho, para cada pareja de estudiantes. Las mesas pueden ser similares a las de la fotografía.



También puede ser una o varias mesas más grandes colocadas en el centro del aula y que los estudiantes trabajen alrededor.



- Tomacorrientes cercanos a las mesas de trabajo, para las computadoras portátiles.

## Recomendaciones

- Entregue una guía a cada pareja de estudiantes.
- Lleve guías adicionales, por si algún estudiante rompe, ensucia o mancha el material que se le entregará.

- Los robots deben de estar contruidos y el marcador cuando se encuentre ajustado al soporte de marcador debe ajustarse su posición para que cuando se ejecuten los movimientos, este logre llegar hasta el pliego de papel y pueda dibujar.
- Las baterías de los robots deben estar cargadas.
- Lleve pliegos de papel adicionales, por si algún estudiante necesita más.

### **Desarrollo de la lección (45 minutos)**

Esta actividad consiste en un ejercicio donde se le solicita al estudiante que trabaje con un robot para dibujar varias circunferencias e identifique sus elementos: centro, radio y diámetro. Además se le solicitará que realice varias figuras (que se le muestran), utilizando el robot, las cuales están formadas por circunferencias de diferente radio. Para lograr lo anterior, cada pareja de estudiantes debe trabajar en una computadora y con un robot siguiendo las instrucciones en la guía de aprendizaje correspondiente.

### Inicio de la actividad (10 minutos)

El docente

Explica a los alumnos los objetivos que se persiguen con el desarrollo de la actividad propuesta y resalta los siguientes aspectos:

- Se debe trabajar, manteniendo el orden y el aseo, con el material que se le entregará y utilizando sus propios instrumentos de trabajo.
- Deben leer con detenimiento las instrucciones que se le brindan y respetar la secuencia de los pasos.
- Anota en la guía lo que se solicite.
- Si en algún paso tienen duda, levanten la mano, para que el docente le atienda en forma individual, y no interrumpen a sus compañeros.
- El trabajo que realicen en el pliego de papel será calificado por el docente en el transcurso de la clase.

- Se debe tener cuidado en la colocación inicial del robot sobre el pliego de papel, ya que podría salirse de este mientras dibuja y caerse de la mesa de trabajo.
- Instrucciones de cómo abrir el archivo para trabajar.  
Para abrir el archivo: GeoBot, entre a la carpeta donde el docente haya guardado el archivo (el docente también puede dejarlo en el escritorio para mayor facilidad) y haga doble clic sobre el archivo con el nombre GeoBot.

Desarrollo de la actividad (30 minutos)

El docente hace entrega a cada pareja de estudiantes de:

- La “Guía de trabajo para el estudiante. Tema: Circunferencia”.
- La computadora portátil.
- El robot GeoBot.
- El cable USB.
- Uno de los pliegos de papel para dibujar; el otro lo entrega hasta que se vaya a construir las figuras formadas por circunferencias.
- La cinta adhesiva o *Masking tape*.
- Los marcadores azul y rojo.

Una vez que ha entregado el material, indicar a los y las estudiantes que pueden iniciar y se mantiene supervisando la disciplina y aclarando cualquier duda.

Cierre de la actividad (5 minutos)

El docente pega en la pizarra los pliegos de papel con el trabajo de cada pareja para hacer una revisión de lo realizado, a fin de que todos los alumnos puedan ver el trabajo de los demás compañeros. Comenta con los estudiantes aspectos relevantes e interesantes de la actividad.

**Observaciones**

---

---

---

---

---

## **Apéndice B. Guía de trabajo para los estudiantes**

### **Actividad 1: Trazar e identificar líneas rectas y curvas**

#### **Guía de trabajo para el estudiante**

**Nivel:** Primer nivel, primer ciclo

**Tema:** Líneas rectas y curvas

**Actividad:** Trazar e identificar líneas rectas y curvas

**Técnica:** Robótica educativa

#### **Objetivo**

Con este trabajo se quiere que el estudiante, utilizando un robot, dibuje varias líneas rectas y curvas, con el fin de comprender la diferencia entre una línea recta y una línea curva.

#### **Recomendaciones**

Para un mejor aprovechamiento, lea detenidamente las instrucciones y las explicaciones que se enmarcan en un recuadro anaranjado.

En el transcurso de la lección si tiene alguna duda, levante la mano para que le atienda su maestro.

## Instrucciones

- Para el desarrollo de la actividad debe tener un pliego de papel, en el que podrá poner a su robot a dibujar lo que usted le indique.
- Pegue el pliego de papel con cinta adhesiva sobre la mesa de trabajo, como se muestra en la siguiente imagen:



- Coloque el robot cerca de su computadora, se asegura de que el marcador esté destapado y en la posición hacia arriba.

Luego utilice el cable USB para conectar el robot a la computadora.



La conexión se muestra en la siguiente imagen:

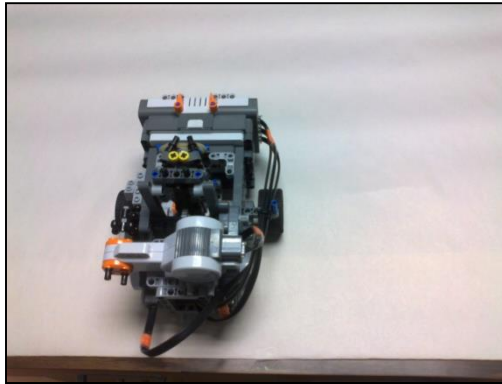


- Abra el archivo de su computadora que se llama GeoBot; este debe estar en el escritorio de su computadora o donde su maestro le haya indicado. Cuando lo abra, verá una pantalla como la siguiente:



A esta pantalla se llama Interfaz.

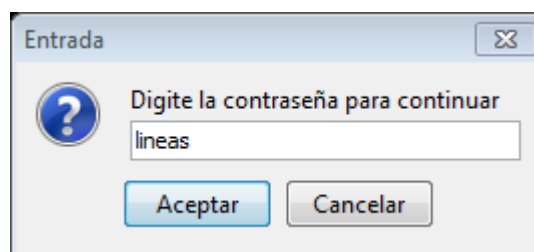
- A continuación se ejecutarán algunos movimientos; coloque el robot sobre el pliego de papel, como se muestra en la foto.



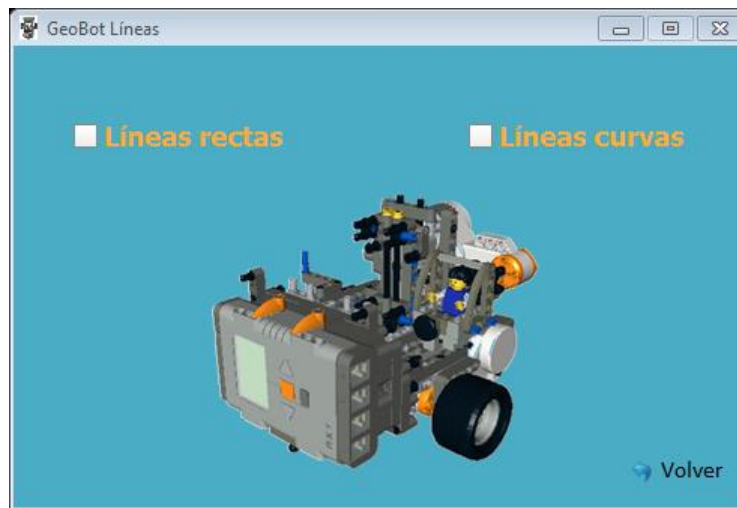
- Va a dibujar una línea recta; para lograrlo se utilizará la interfaz; coloque el mouse sobre Líneas; al hacerlo el cuadro que está al inicio cambiará a color verde, como se muestra a continuación:



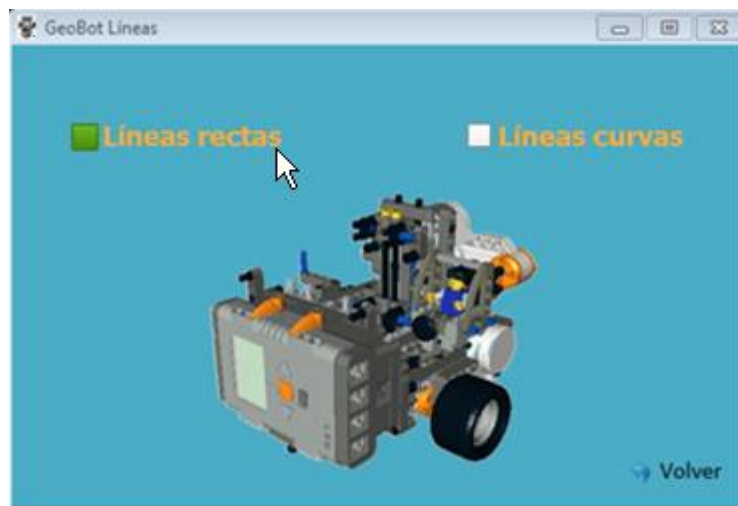
Al hacer clic se abrirá una ventana como la siguiente:



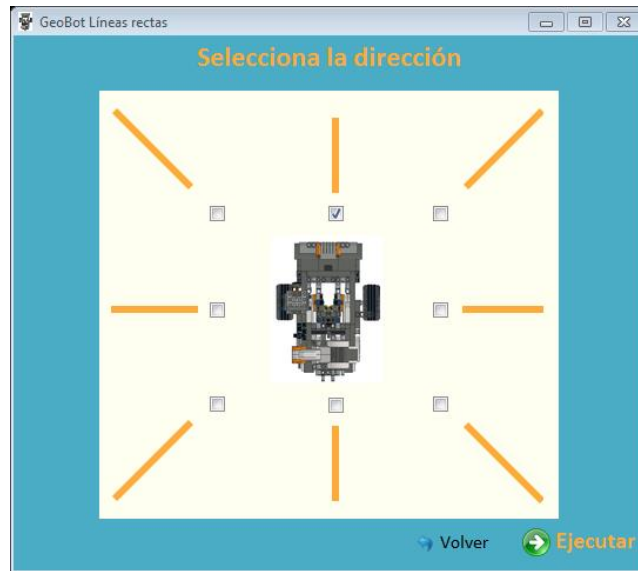
- La contraseña que debe digitar es: líneas, luego haga clic en el botón Aceptar. Se abrirá una ventana como la siguiente:



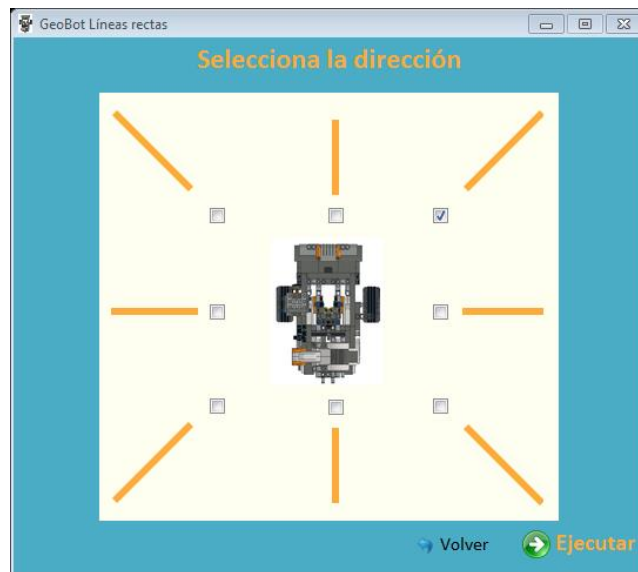
- Luego coloque el mouse sobre Líneas rectas; al hacerlo el cuadro que está al inicio cambiará a color verde, como se muestra a continuación:




Al hacer clic se abrirá una ventana como la siguiente:



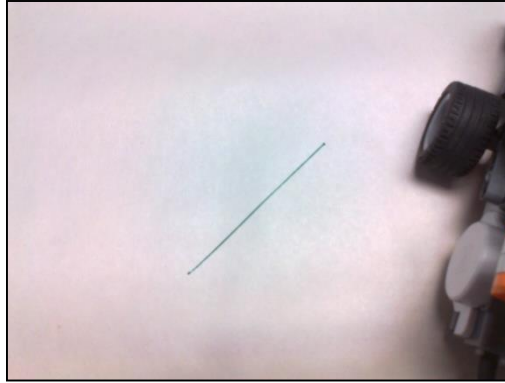
- Seleccione la dirección de la línea recta, tal y como se muestra en la siguiente figura:



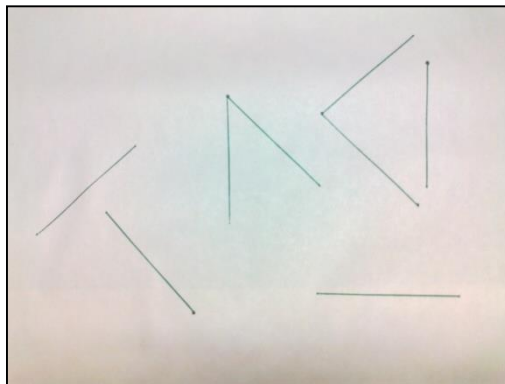
Y luego presiona el botón .

- Espere a que el robot dibuje la línea recta.

- Alce el robot y acomódelo en otro lugar sobre el pliego de papel, para que pueda ver la línea recta dibujada.



- Utilice la interfaz para que el robot dibuje más líneas rectas en diferentes direcciones y en diferentes lugares del pliego de papel, parecidas a las siguientes.



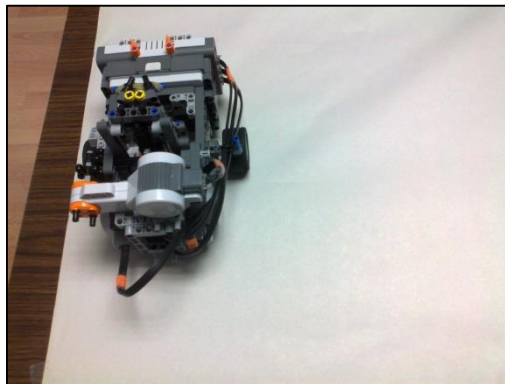
**Nota:**

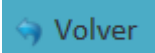
Estas líneas que está dibujando son **líneas rectas**.

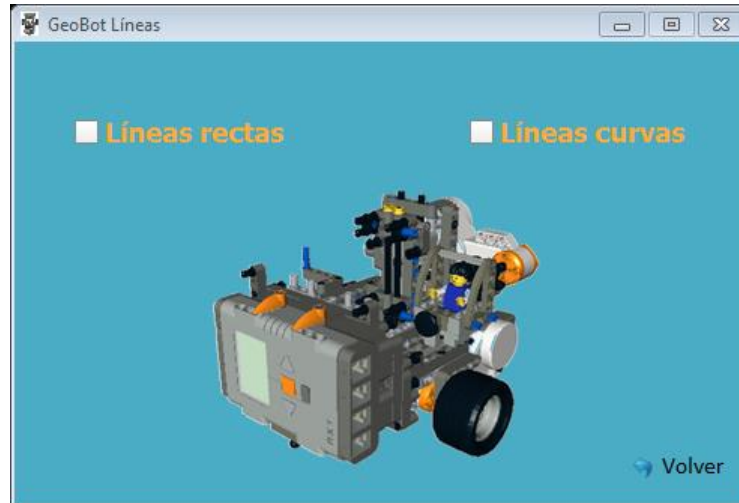
Las **líneas rectas** pueden tener diferentes tamaños y pueden ir en diferentes direcciones, pero cuando se están dibujando la dirección no cambia.



- Pida a su maestro otro pliego de papel y cambie el que tiene pegado en su escritorio.
- Ahora va a dibujar una línea curva; coloque el robot sobre el pliego de papel como se muestra en la siguiente figura.



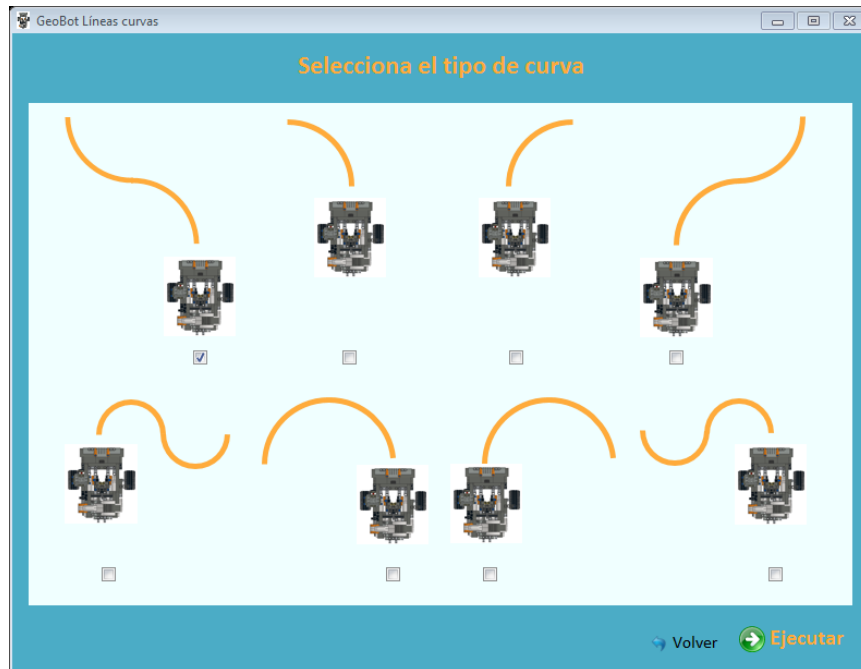
- Para salir de la pantalla de líneas rectas, presione el botón . Al hacerlo regresará a la siguiente pantalla:



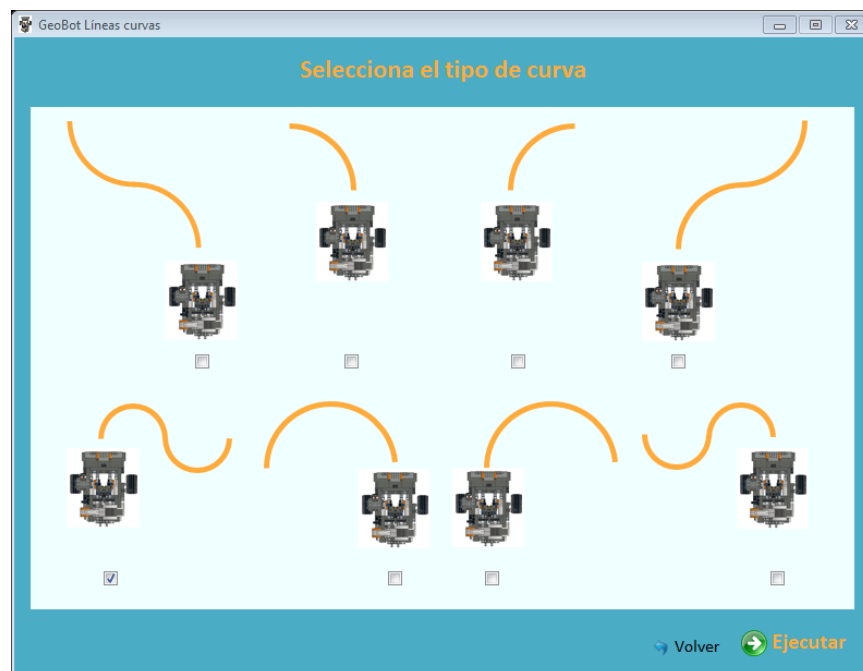
- Ahora coloque el "mouse" sobre Líneas curvas; al hacerlo, el cuadro que está al inicio cambiará a color verde, como se muestra a continuación:




Al hacer clic se abrirá una ventana como la siguiente:



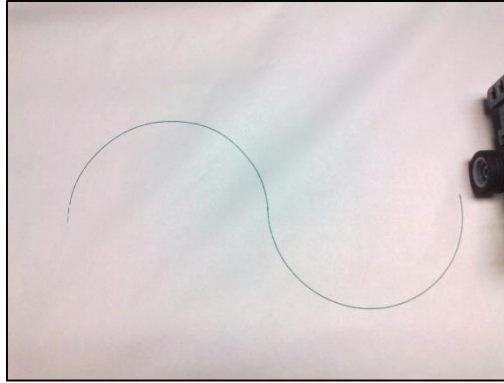
- Seleccione el tipo de línea curva, tal y como se muestra en la siguiente figura:



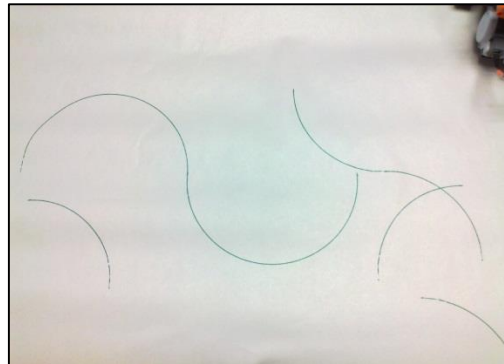
Y luego presione el botón .

- Espere a que el robot dibuje la línea curva.

- Alce el robot y acomódelo en otro lugar sobre el pliego de papel, para que pueda ver la línea curva dibujada.



- Utilice la interfaz para que el robot dibuje más líneas curvas de diferentes tipos y en diferentes lugares del pliego de papel, parecidas a las siguientes.



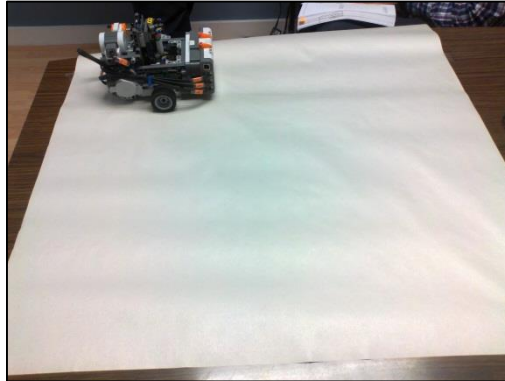
**Nota:**

Estas líneas que estas dibujando son **líneas curvas**.

Las **líneas curvas** pueden tener diferentes formas y pueden ir en diferentes direcciones, pero cuando se están dibujando la dirección va cambiando.



- Pida a su maestro otro pliego de papel y cambie el que tienes pegado en su escritorio.
- Coloque el robot sobre el pliego de papel como se muestra en la siguiente figura.





## **Actividad 2: Trazar ángulos y reconocer sus elementos: lado y vértice**

### **Guía de trabajo para el estudiante**

**Nivel: Tercer nivel, primer ciclo**

**Tema: Ángulos**

**Actividad: Trazar ángulos y reconocer sus elementos: lado y vértice**

**Técnica: Robótica educativa**

### **Objetivo**

Con este trabajo se quiere que el estudiante, utilizando un robot, dibuje varios ángulos. Ello, con el fin de comprender que es un ángulo y cuáles son sus elementos.

### **Recomendaciones**

Para un mejor aprovechamiento, lea detenidamente las instrucciones y las explicaciones que se enmarcan en un recuadro anaranjado.

En el transcurso de la lección si tiene alguna duda, levante la mano para que le atienda su maestro.

## Instrucciones:

1. Para el desarrollo de la actividad debe tener un pliego de papel, en el que podrá poner a su robot a dibujar lo que usted le indique.
2. Pegue el pliego de papel con cinta adhesiva sobre la mesa de trabajo, como se muestra en la siguiente imagen:



3. Coloque el robot cerca de su computadora, asegúrese de que el marcador esté destapado y en la posición hacia arriba.  
Luego utiliza el cable USB para conectar el robot a la computadora.



La conexión se muestra en la siguiente imagen:

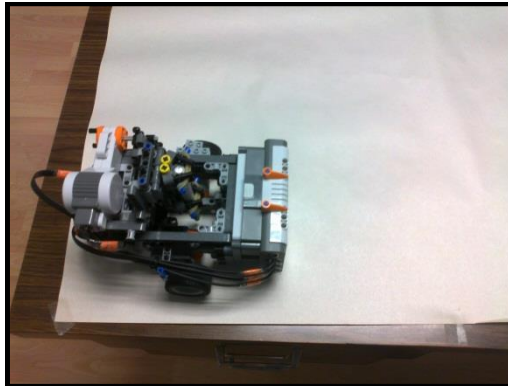


4. Abra el archivo de su computadora que se llama GeoBot; este debe estar en el escritorio de su computadora o donde su maestro le haya indicado. Cuando lo abra, verá una pantalla como la siguiente:



A esta pantalla se le llama Interfaz.

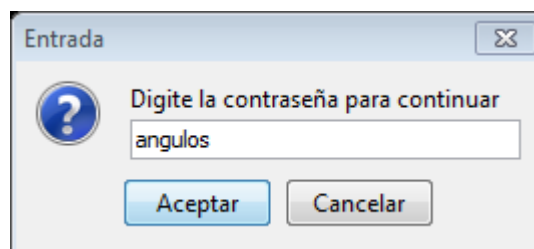
5. A continuación se ejecutarán algunos movimientos; coloque el robot sobre el pliego de papel, como se muestra en la foto.



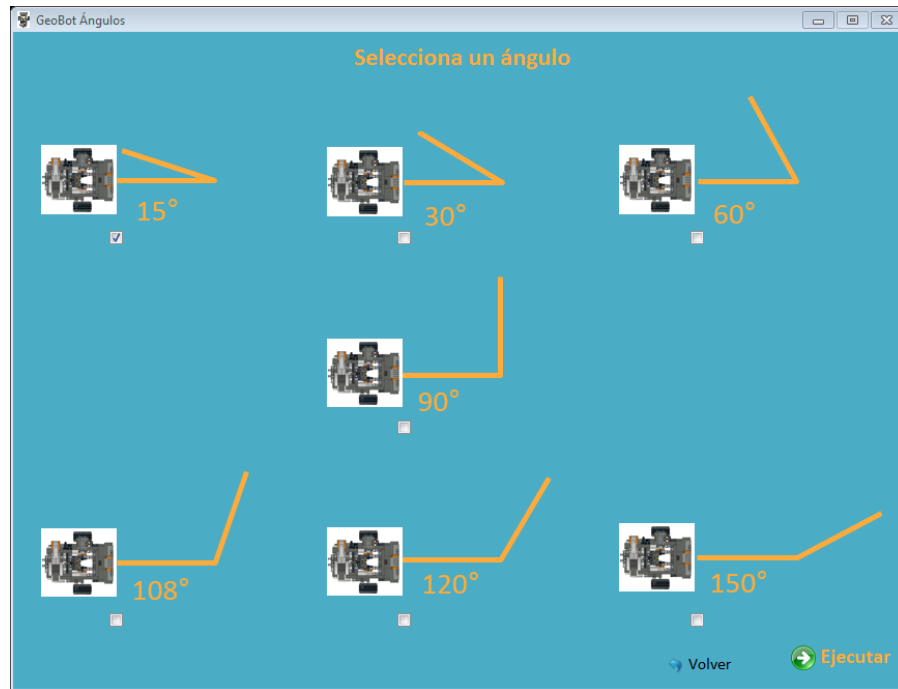
6. Va a dibujar un ángulo; para lograrlo se utiliza la interfaz; coloque el mouse sobre Ángulos; al hacerlo, el cuadro que está al inicio cambiará a color verde, como se muestra a continuación:



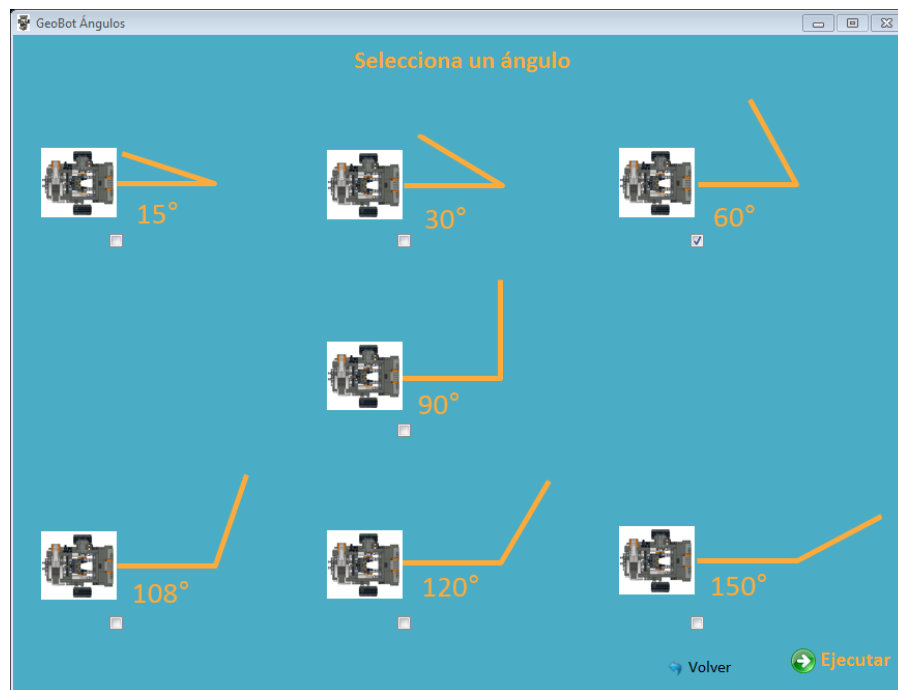
Al hacer clic se abrirá una ventana como la siguiente:




7. La contraseña que debe digitar es: **ángulos**; luego haga clic en el botón **Aceptar**. Se abrirá una ventana como la siguiente:



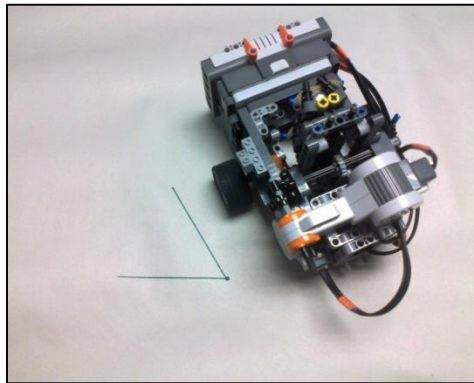
8. Seleccione el ángulo, tal y como se muestra en la siguiente figura:



Y luego presione el botón .

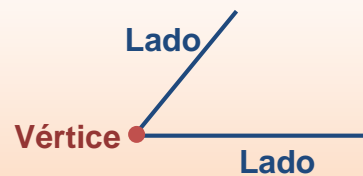
9. Espere a que el robot dibuje el ángulo.

10. Alce el robot y acomódelo en otro lugar sobre el pliego de papel, para que pueda ver el ángulo dibujado. Su dibujo debe verse como el siguiente:



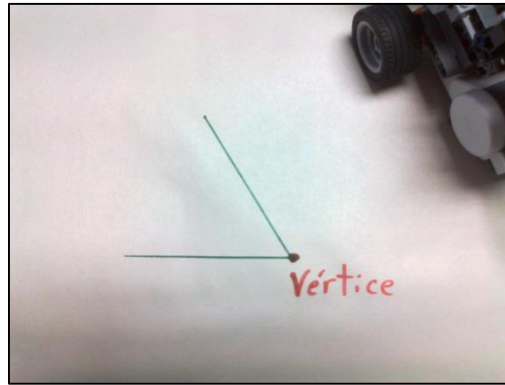
**Nota:**

Un **ángulo** es una figura plana; está formado por dos elementos: el **vértice** que es la esquina (un punto) y sus **lados** que son las dos líneas rectas.

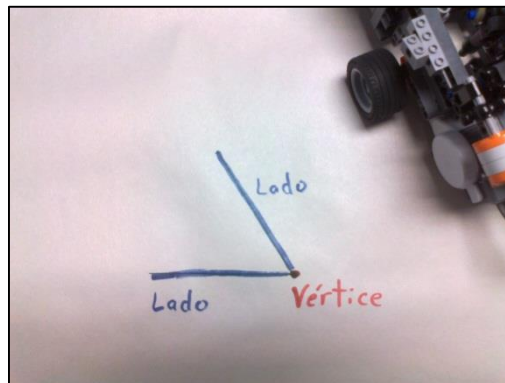


Se pueden identificar ángulos en las piernas, brazos y dedos, en la esquina de una mesa o de una ventana.

11. Identifique el vértice en el ángulo que acaba de dibujar el robot; escriba su nombre y márkelo con rojo.

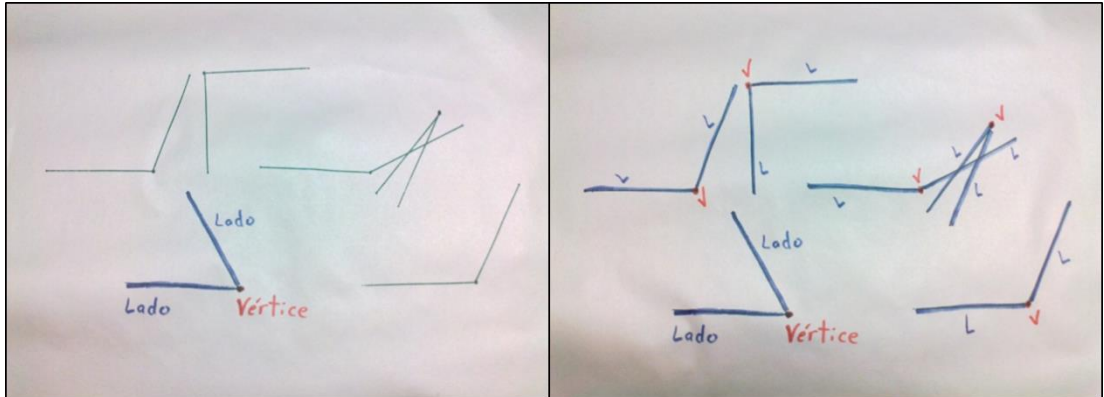


12. También identifique los lados del ángulo; escriba su nombre con azul.



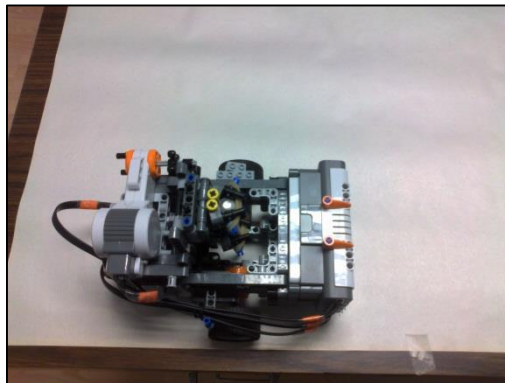
13. Utilice la interface para que el robot dibuje más ángulos de diferentes tamaños y en diferentes lugares del pliego de papel.

14. Identifique el vértice con rojo y los lados con azul de cada uno de los ángulos que ha dibujado el robot.

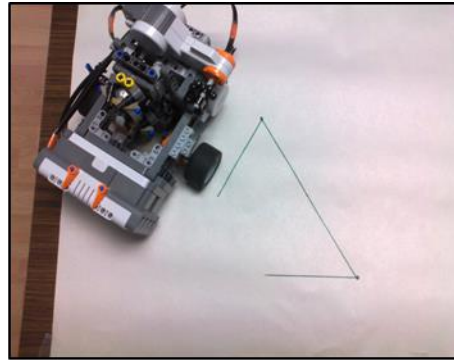
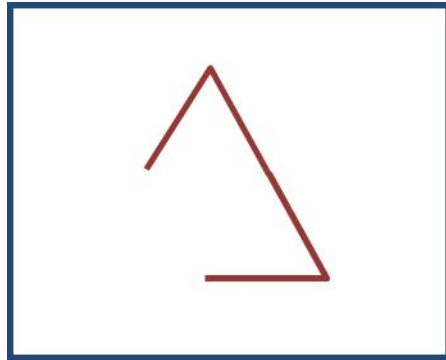


15. Pida a su maestro otro pliego de papel y cambie el que tiene pegado en su escritorio.

16. Coloque el robot sobre el pliego de papel como se muestra en la siguiente figura:

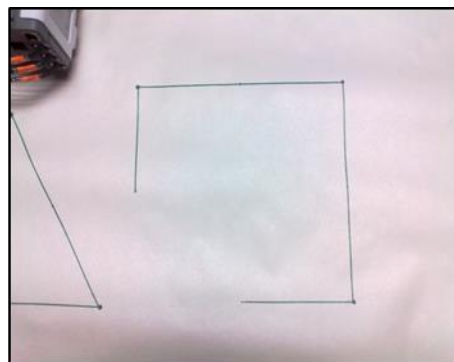
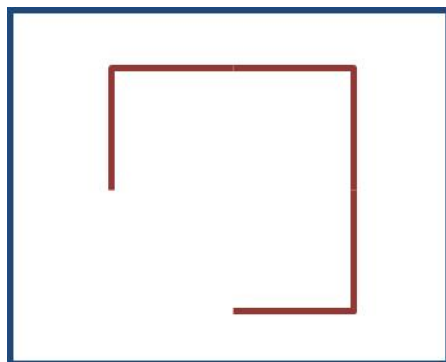


17. Utilice la interface de ángulos para hacer que el robot haga el siguiente dibujo.



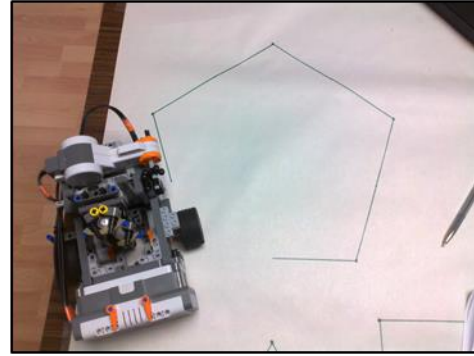
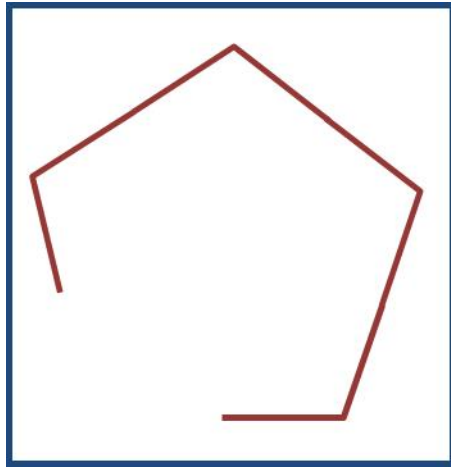
No debe mover el robot con las manos.

18. Utilice la interface de ángulos para hacer que el robot haga el siguiente dibujo.



No debe mover el robot con las manos.

19. Utilice la interface de ángulos para hacer que el robot haga el siguiente dibujo.



No debe mover el robot con las manos.

20. Observe a su alrededor e identifique objetos que tengan ángulos. Anótelos en la siguiente lista:

Objetos que tienen ángulos

## **Actividad 3: Clasificar polígonos según el número de sus lados: triángulo, cuadrilátero, pentágono, hexágono.**

### **Guía de trabajo para el estudiante**

**Nivel: Tercer nivel, primer ciclo**

**Tema: Polígonos**

**Actividad: Clasificar polígonos según el número de sus lados: triángulo, cuadrilátero, pentágono, hexágono.**

**Técnica: Robótica educativa**

### **Objetivo**

Con este trabajo se quiere que el estudiante utilizando un robot dibuje varios polígonos. Con el fin de comprender que es un polígono, cuáles son sus elementos y cuál es su clasificación según el número de sus lados.

### **Recomendaciones**

Para un mejor aprovechamiento, lea detenidamente las instrucciones y las explicaciones que se enmarcan en un recuadro anaranjado.

En el transcurso de la lección si tiene alguna duda, levante la mano para que le atienda su maestro.

## Instrucciones

1. Para el desarrollo de la actividad debe tener un pliego de papel, en el que podrá poner a su robot a dibujar lo que usted le indique.
2. Pegue el pliego de papel con cinta adhesiva sobre la mesa de trabajo, como se muestra en la siguiente imagen:



3. Coloque el robot cerca de su computadora, asegúrese de que el marcador esté destapado y en la posición hacia arriba.  
Luego utilice el cable USB para conectar el robot a la computadora.



La conexión se muestra en la siguiente imagen:

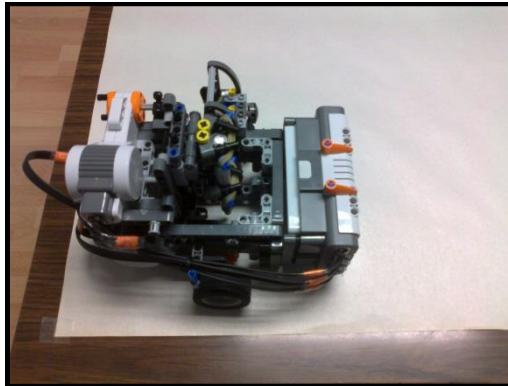


4. Abra el archivo de su computadora que se llama GeoBot; este debe estar en el escritorio de su computadora o donde su maestro le haya indicado. Cuando lo abra, verá una pantalla como la siguiente:



A esta pantalla se le llama interfaz.

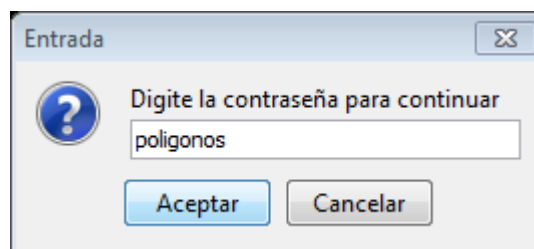
5. A continuación se ejecutarán algunos movimientos. Coloque el robot sobre el pliego de papel, como se muestra en la foto.



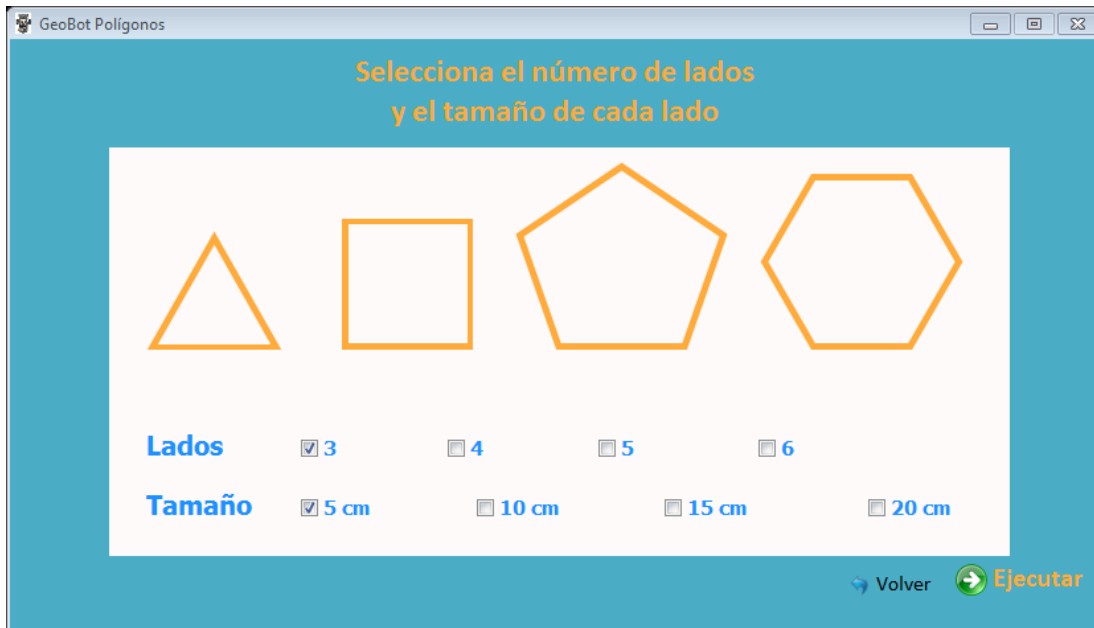
6. Va a dibujar un polígono; para lograrlo se utilizará la interfaz; coloque el mouse sobre **Polígonos**; al hacerlo, el cuadro que está al inicio cambiará a color verde, como se muestra a continuación:



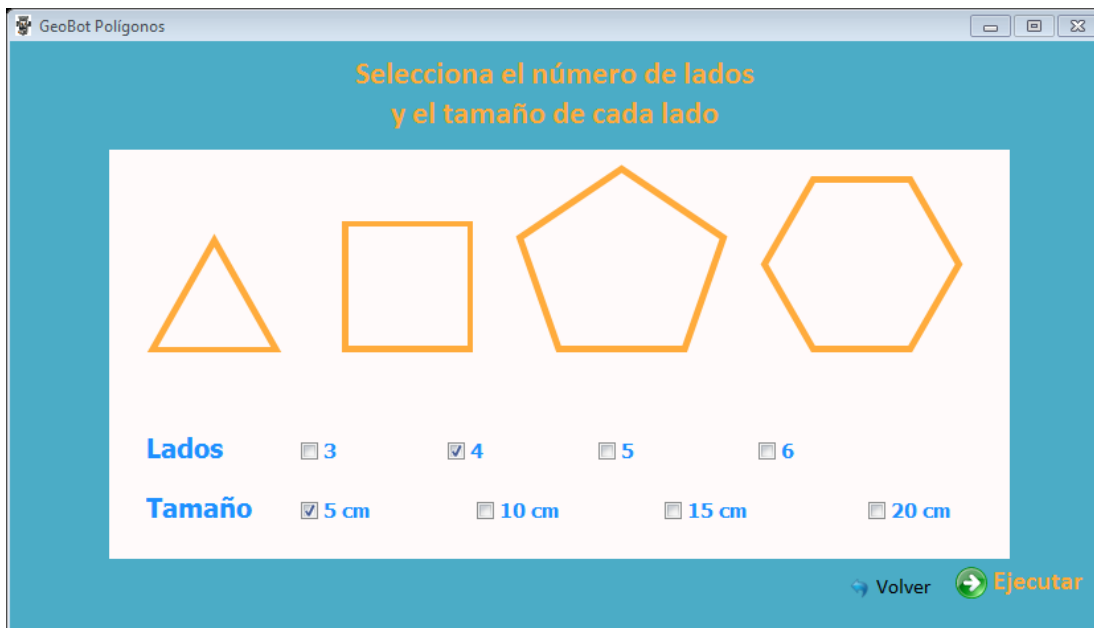
Al hacer clic, se abrirá una ventana como la siguiente:



7. La contraseña que debe digitar es: polígonos; luego haga clic en el botón Aceptar. Se abrirá una ventana como la siguiente:



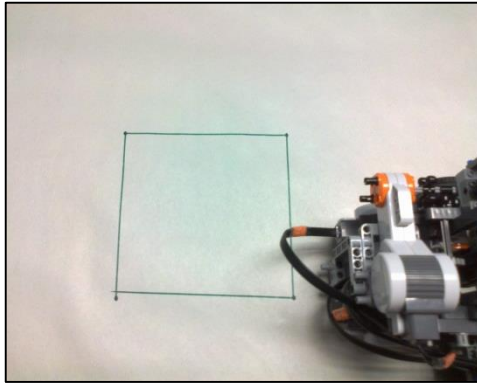
8. Seleccione un número de lados y un tamaño, tal y como se muestra en la siguiente figura:



Y luego presiona .

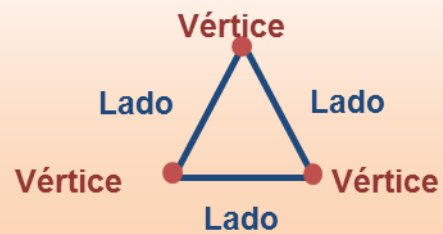
9. Espere a que el robot dibuje el polígono.

10. Alce el robot y acomódelo en otro lugar sobre el pliego de papel, para que pueda ver el polígono dibujado. Su dibujo debe verse como el siguiente:

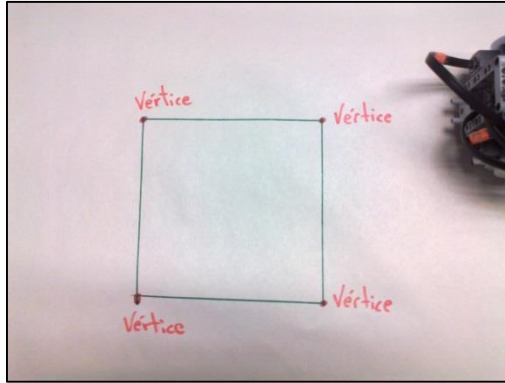


**Nota:**

Un **polígono** es una figura plana; está formado por tres o más **lados** que son líneas rectas y por **vértices** que son puntos que unen los lados.

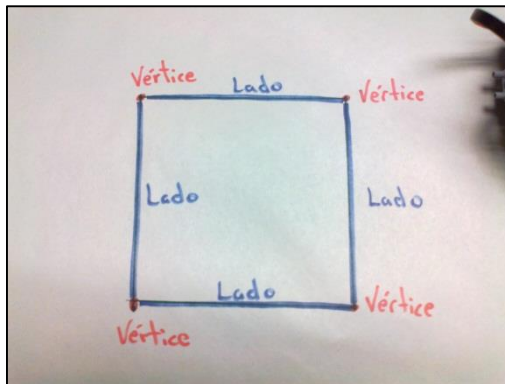


11. Identifique en el polígono que acaba de dibujar, el robot el vértice; escriba su nombre y márquelo con rojo.



12. ¿Cuántos vértices tiene el polígono dibujado? \_\_\_\_\_

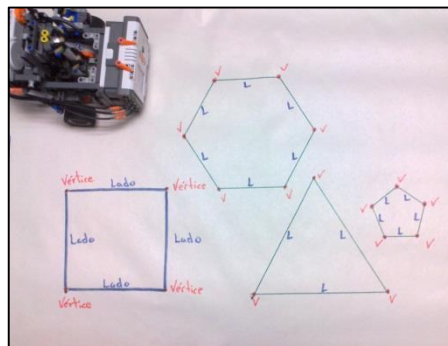
13. También identifique los lados del polígono; escriba su nombre con azul.



14. ¿Cuántos lados tiene el polígono dibujado? \_\_\_\_\_



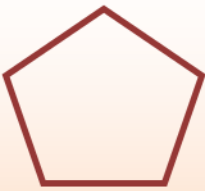

15. Utilice la interface para que el robot dibuje más polígonos de diferentes tamaños y números de lados.

16. Identifique el vértice con rojo y los lados con azul de cada uno de los polígonos que ha dibujado el robot. Anota al lado del polígono, el número de lados y de vértices que tiene cada uno.

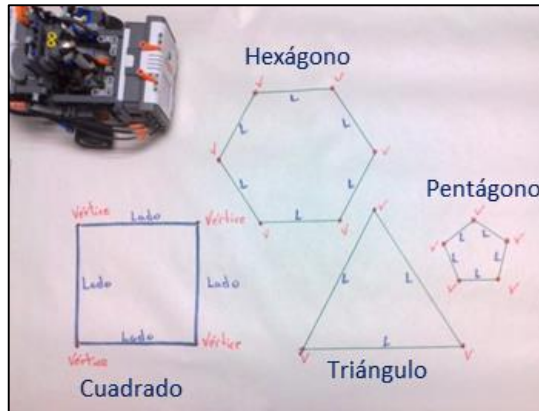


**Nota:**

Los **polígonos** se clasifican según su número de lados y vértices.

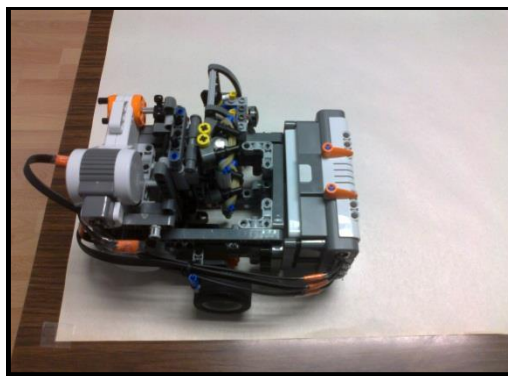
			
3 lados	4 lados	5 lados	6 lados
3 vértices	4 vértices	5 vértices	6 vértices
<b>Triángulo</b>	<b>Cuadrilátero</b>	<b>Pentágono</b>	<b>Hexágono</b>

17. Clasifique los polígonos que el robot ha dibujado, escribiendo su nombre dentro del polígono según el número de lados y vértices que tiene.

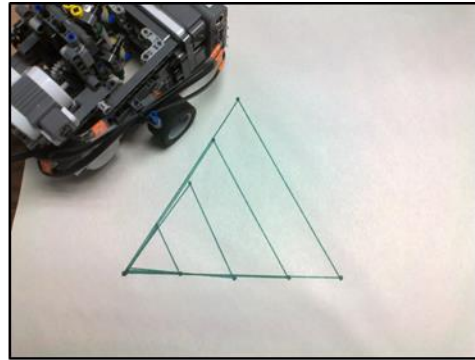
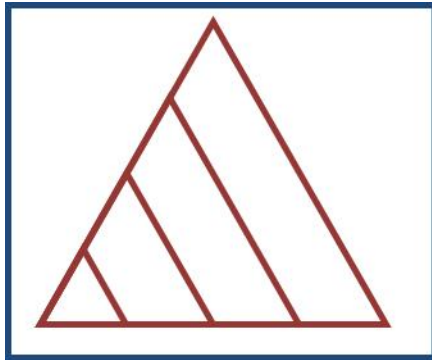


18. Pida a su maestro otro pliego de papel y cambia el que tiene pegado en su escritorio.

19. Coloque el robot sobre el pliego de papel como se muestra en la siguiente figura.

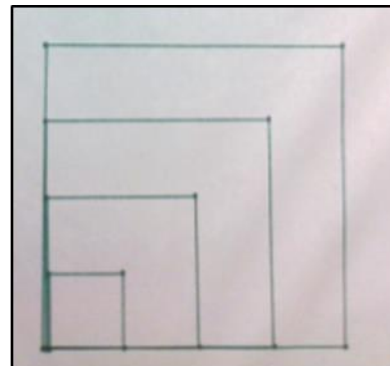
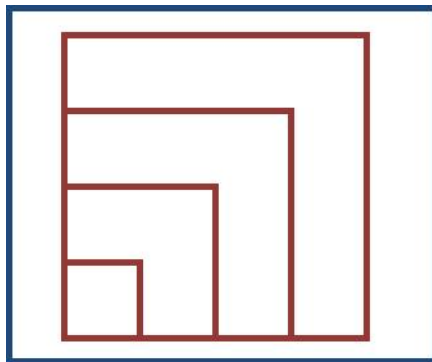


20. Utilice la interface de polígonos para hacer que el robot haga el siguiente dibujo.



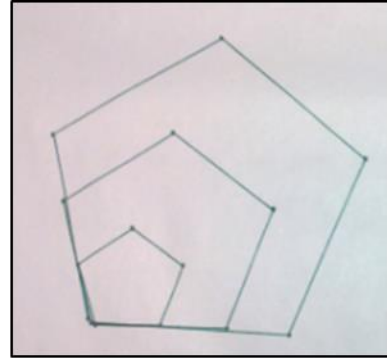
No debe mover el robot con las manos.

21. Utilice la interface de polígonos para hacer que el robot haga el siguiente dibujo.



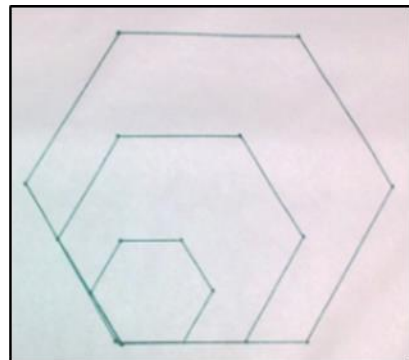
No debe mover el robot con las manos.

22. Utilice la interface de polígonos para hacer que el robot haga el siguiente dibujo.



No debe mover el robot con las manos.

23. Utilice la interface de polígonos para hacer que el robot haga el siguiente dibujo.



No debe de mover el robot con las manos.

24. Observe a su alrededor e identifique objetos que sean polígonos. Anótelos en la siguiente lista:

Objetos que son polígonos

## **Actividad 4: Identificar y trazar circunferencias** **Reconocer el radio y el diámetro de una circunferencia**

Guía de trabajo para el estudiante

**Nivel: Tercer nivel, primer ciclo**

**Tema: Circunferencia**

**Actividad: Identificar y trazar circunferencias. Reconocer el radio y el diámetro de una circunferencia**

**Técnica: Robótica educativa**

### **Objetivo**

Con este trabajo se quiere que el estudiante utilizando un robot dibuje varias circunferencias, con el fin de comprender qué es una circunferencia y cuáles son sus elementos.

### **Recomendaciones**

Para un mejor aprovechamiento, lea detenidamente las instrucciones y las explicaciones que se enmarcan en un recuadro anaranjado.

En el transcurso de la lección si tiene alguna duda, levante la mano para que le atienda su maestro.

## Instrucciones

1. Para el desarrollo de la actividad debe tener un pliego de papel, en el que podrá poner a su robot a dibujar lo que usted le indique.
2. Pegue el pliego de papel con cinta adhesiva sobre la mesa de trabajo, como se muestra en la siguiente imagen:



3. Coloque el robot cerca de su computadora; asegúrese de que el marcador esté destapado y en la posición hacia arriba.  
Luego utilice el cable USB para conectar el robot a la computadora.



La conexión se muestra en la siguiente imagen:

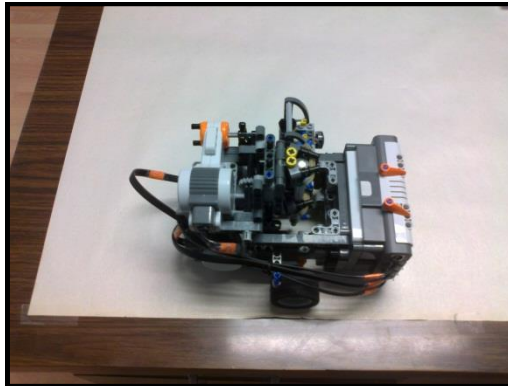


4. Abra el archivo de su computadora que se llama GeoBot; este debe estar en el escritorio de su computadora o donde su maestro le haya indicado. Cuando lo abra, verá una pantalla como la siguiente:



A esta pantalla se le llama interfaz.

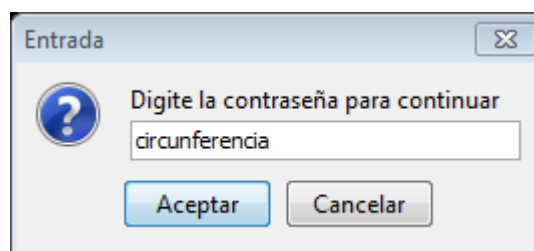
5. A continuación se ejecutarán algunos movimientos; coloque el robot sobre el pliego de papel, como se muestra en la foto.



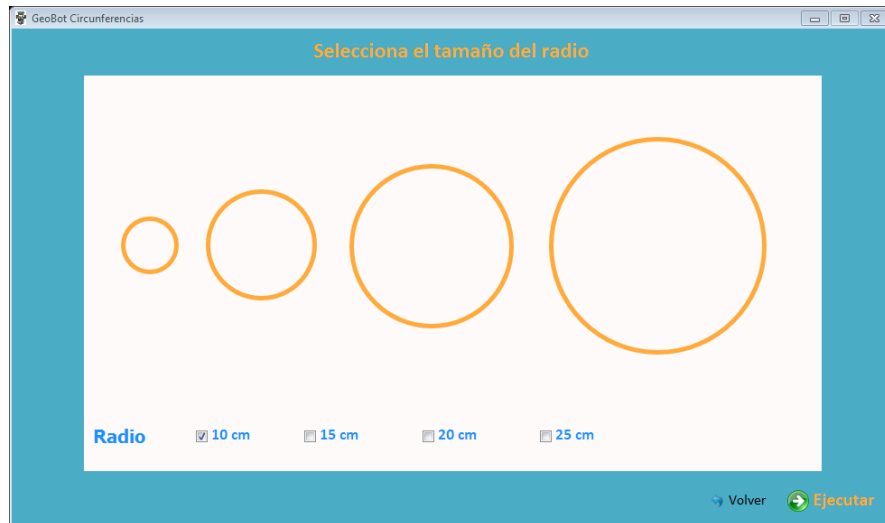
6. Dibuje una circunferencia; para lograrlo se utiliza la interfaz; coloque el mouse sobre Circunferencia; al hacerlo, el cuadro que está al inicio, cambiará a color verde, como se muestra a continuación:



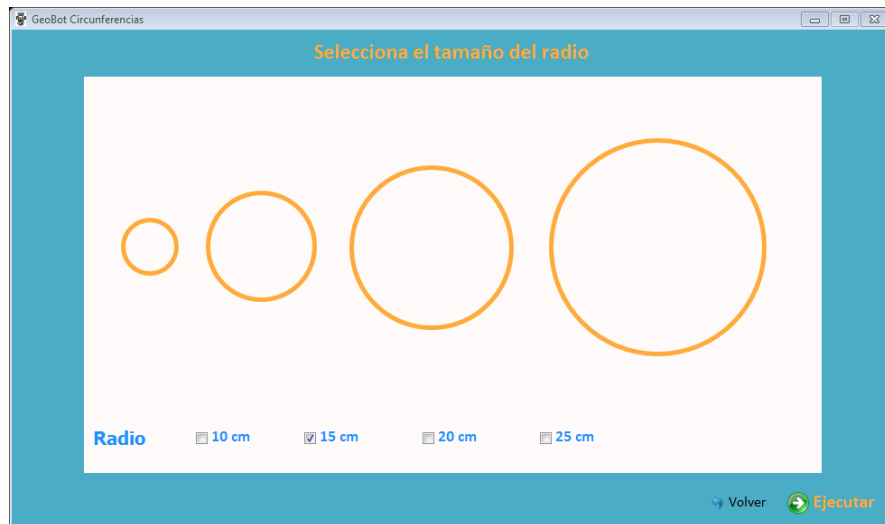
Al hacer clic se abrirá una ventana como la siguiente:



7. La contraseña que debe digitar es: circunferencia; luego haga clic en el botón Aceptar. Se abrirá una ventana como la siguiente:



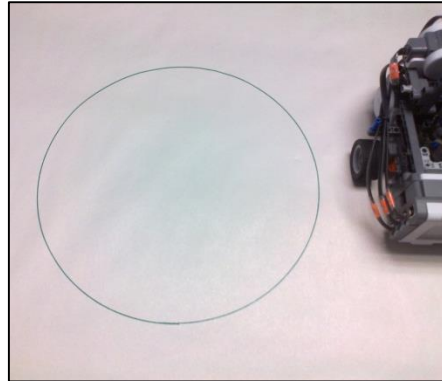
8. Seleccione un tamaño radio, tal y como se muestra en la siguiente figura:



Y luego presiona .

9. Espere a que el robot dibuje la circunferencia.

10. Alce el robot y acomódelo en otro lugar sobre el pliego de papel, para que pueda ver la circunferencia dibujada. Su dibujo debe verse como el siguiente:

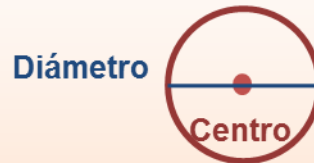


**Nota:**

Una **circunferencia** es una línea curva, cerrada y plana en la que todos sus puntos están a la misma distancia de un punto interior llamado **centro**.



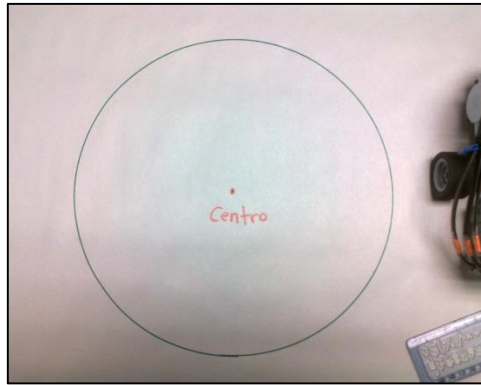
**Radio:** Segmento que une el centro con un punto cualquiera de la circunferencia.



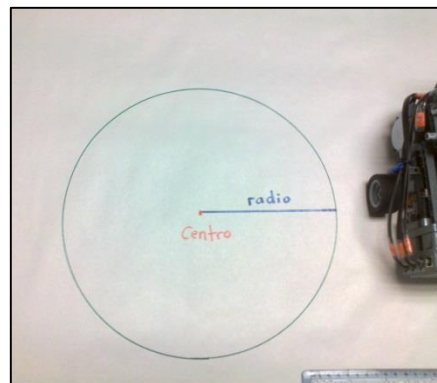
**Diámetro:** Segmento que une dos puntos de la circunferencia pasando por el centro.

$$\text{Diámetro} = 2 \text{ radios}$$

11. Dibuje con rojo el centro de la circunferencia que acaba de dibujar el robot; escriba su nombre.



12. Utilice una regla para dibujar con azul un radio de la circunferencia; escriba su nombre.

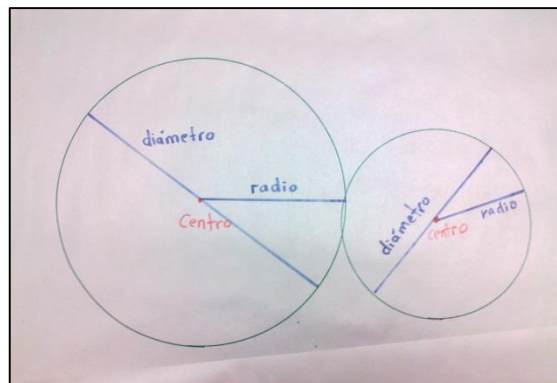


13. Utilice una regla para dibujar con azul un diámetro de la circunferencia; escriba su nombre.



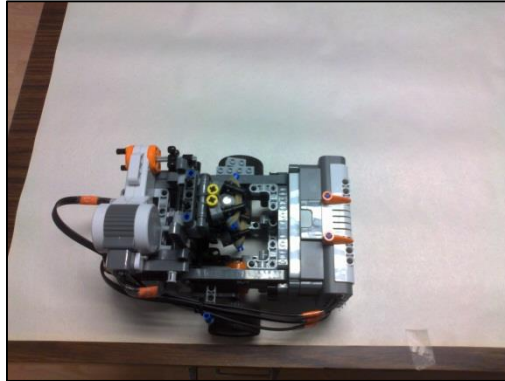
14. Utilice la interface para que el robot dibuje otra circunferencia de diferente tamaño.

15. Dibuje con rojo el centro de la circunferencia que ha dibujado el robot y con azul, un radio y un diámetro.

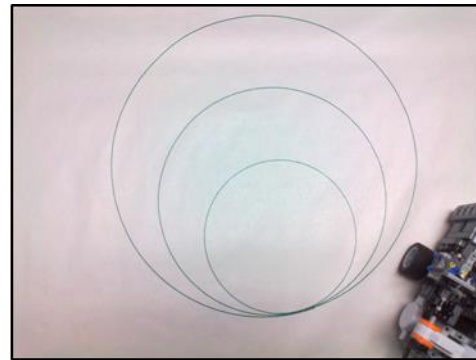
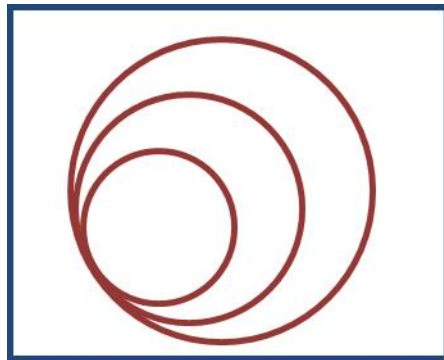


16. Pida a su maestro otro pliego de papel y cambie el que tiene pegado en su escritorio.

17. Coloque el robot sobre el pliego de papel como se muestra en la siguiente figura.



18. Utilice la interface de polígonos para hacer que el robot haga el siguiente dibujo.

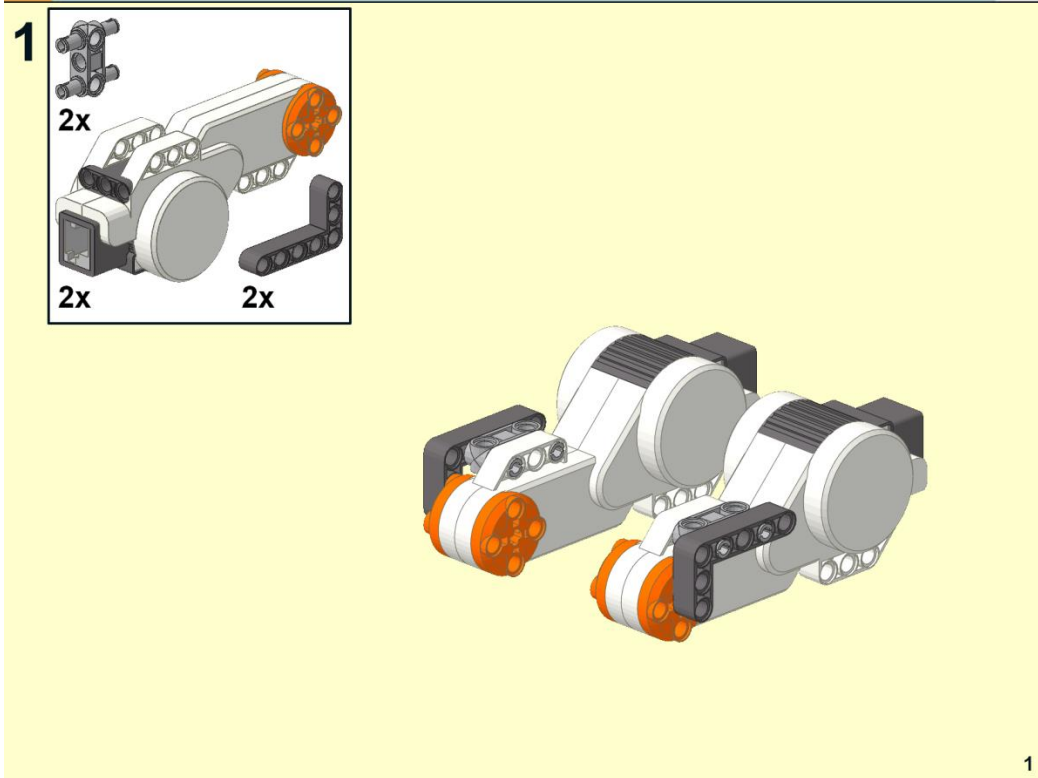
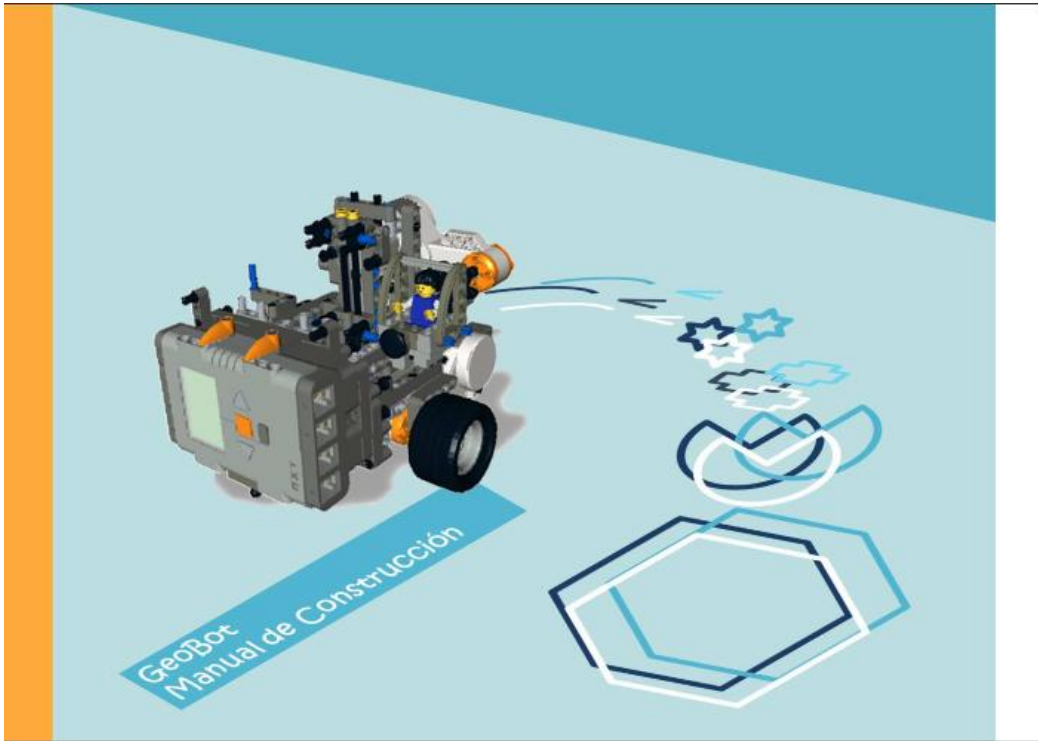


No debe mover el robot con las manos.

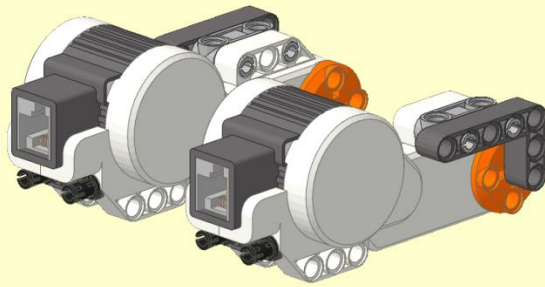
19. Observe a su alrededor e identifique objetos que sean circunferencias.  
Anótelos en la siguiente lista:

Objetos que son circunferencias

## Apéndice C. Guía de construcción del robot

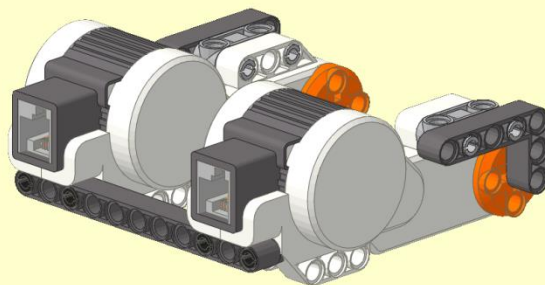


**2**  
4x

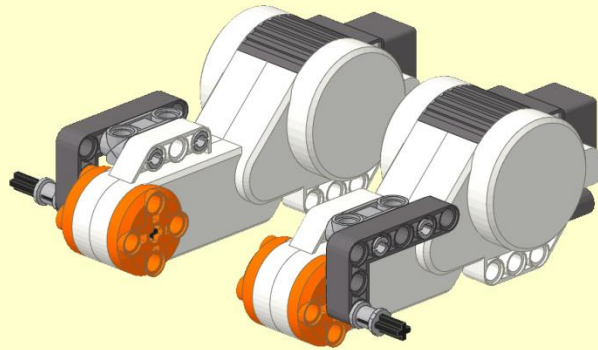
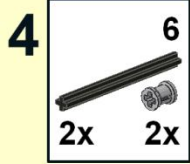


2

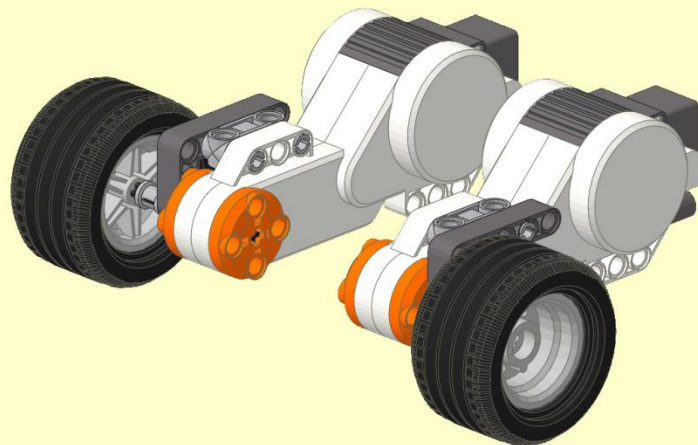
**3**  
11  
1x



3

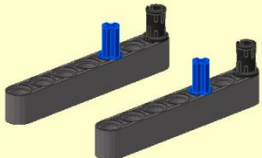


4



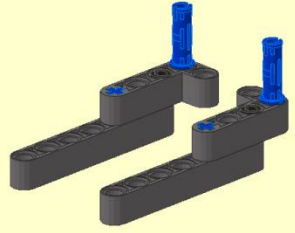
5

1



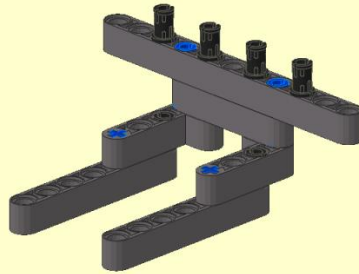
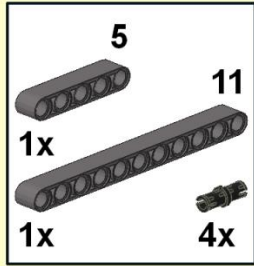
6

2



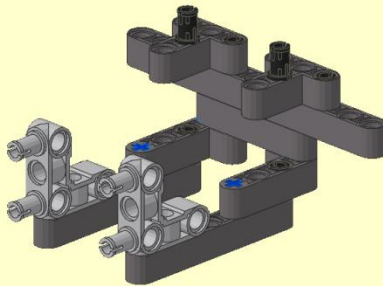
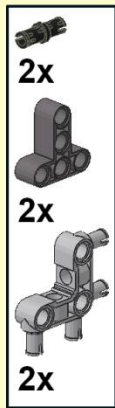
7

3



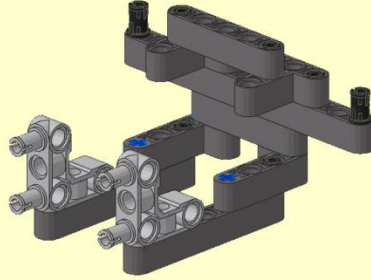
8

4



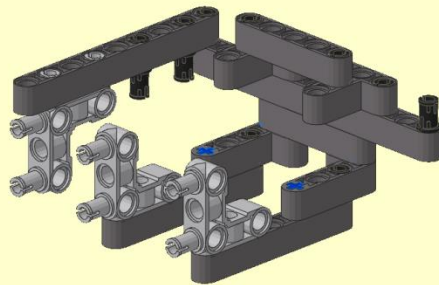
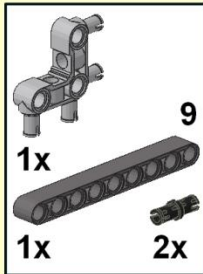
9

5



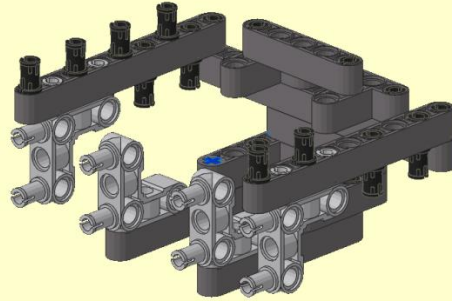
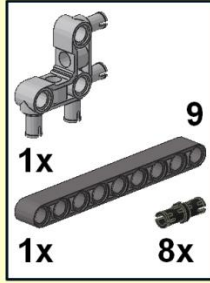
10

6



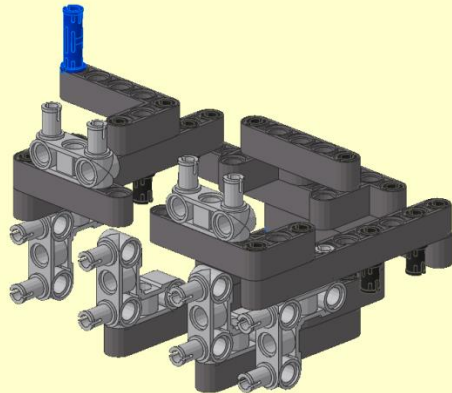
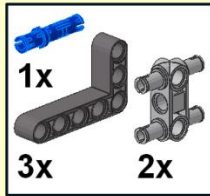
11

7



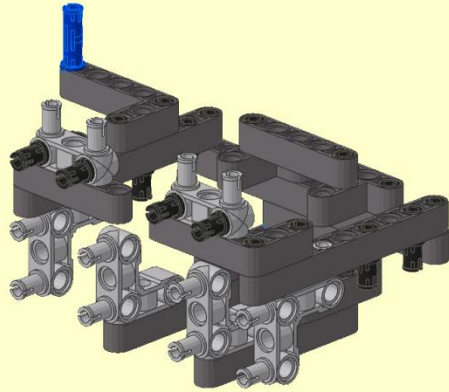
12

8

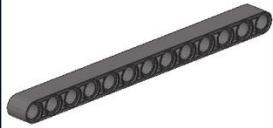


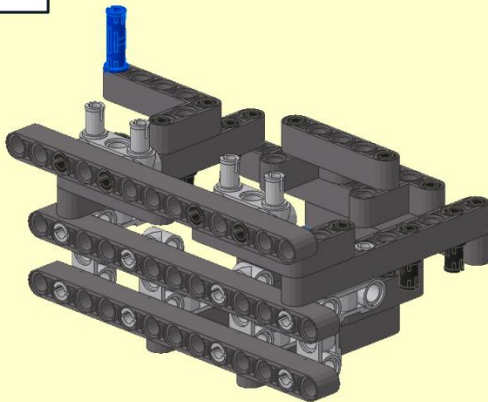
13

9  4x



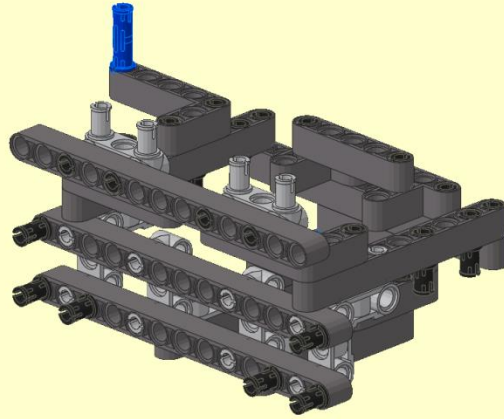
14

10  13  
3x


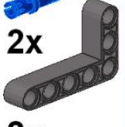


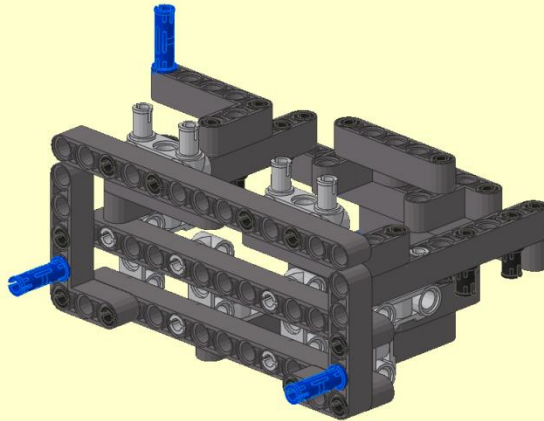
15

11  6x



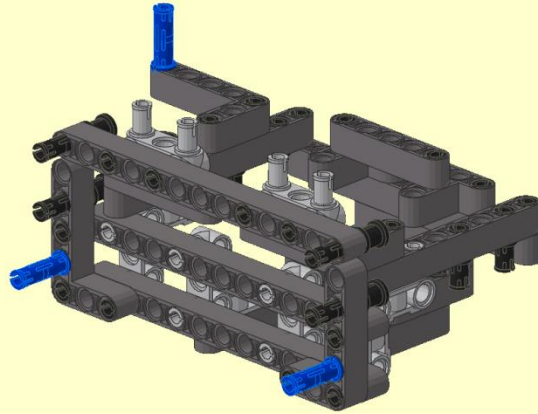
16

12  2x  
 2x



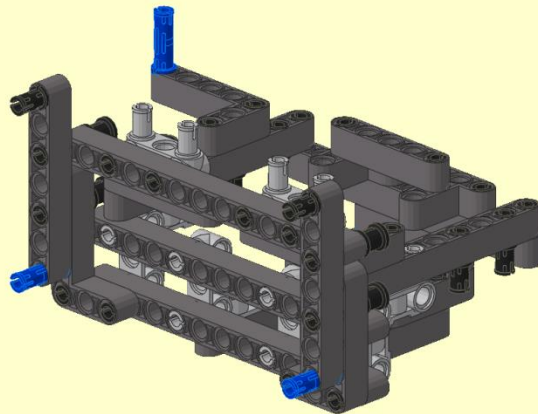
17

13

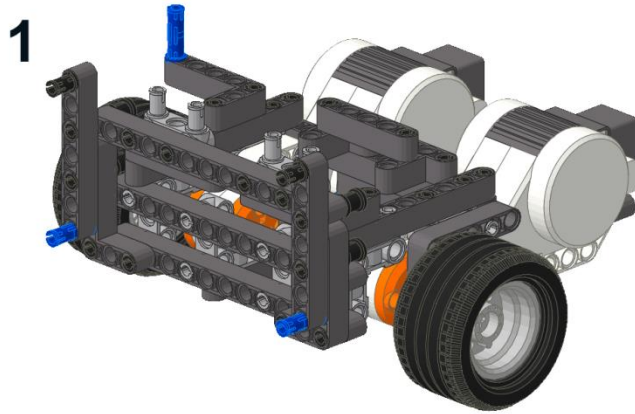


18

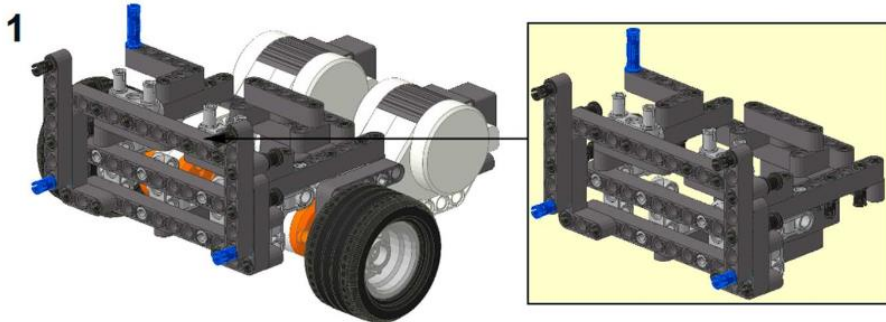
14



19



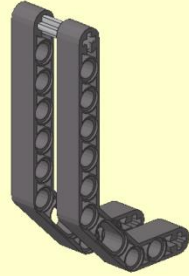
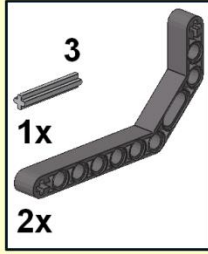
20



21

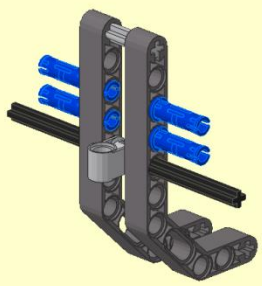
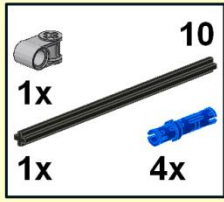
303

1



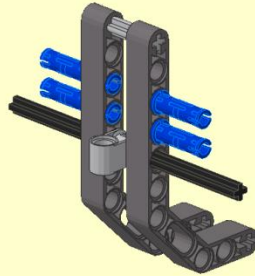
22

2








23

- 2**
- 2x 
  - 2x 



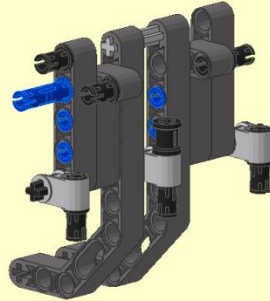
24

- 3**
- 1x 
  - 1x 
  - 1x 
  - 5 
  - 2x 



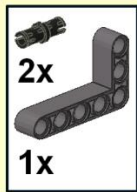
25

4



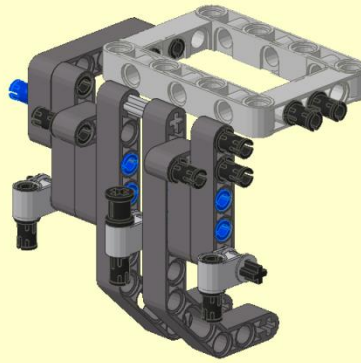
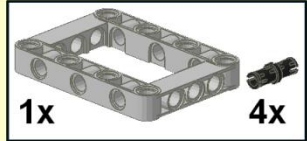
26

5



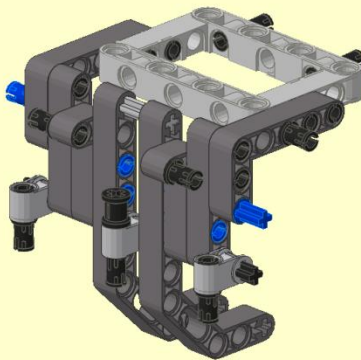
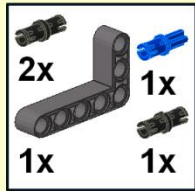
27

6



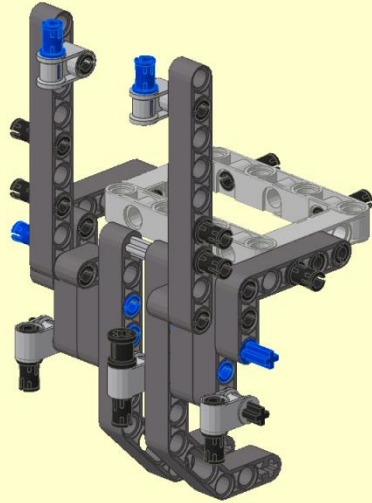
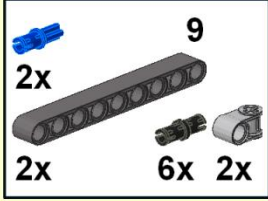
28

7



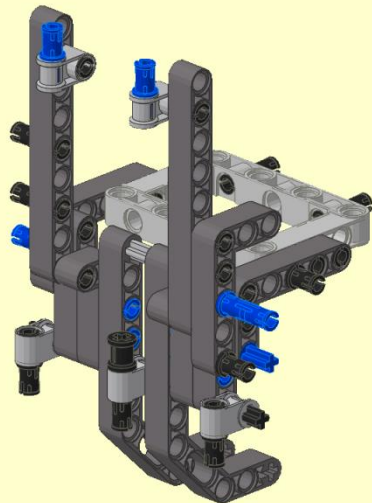
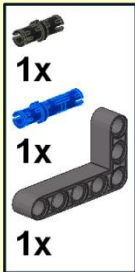
29

8



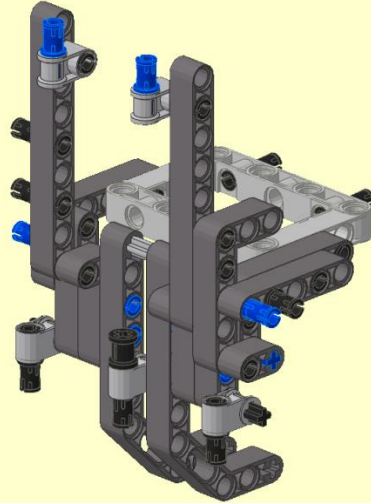
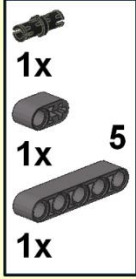
30

9



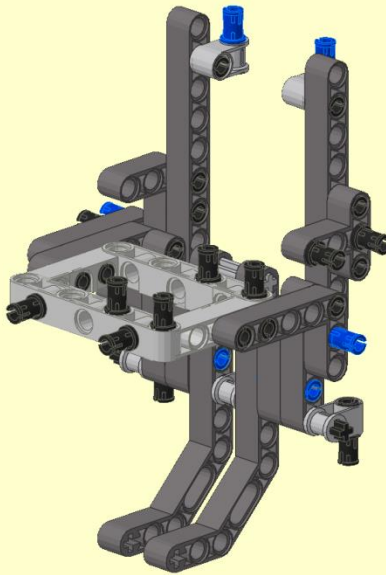
31

10



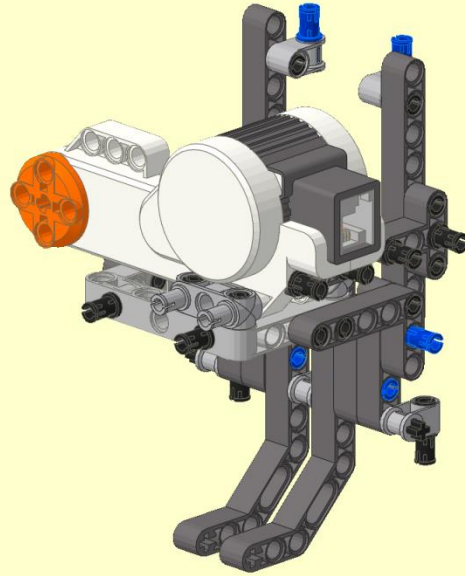
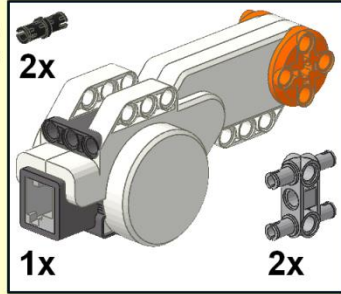
32

11



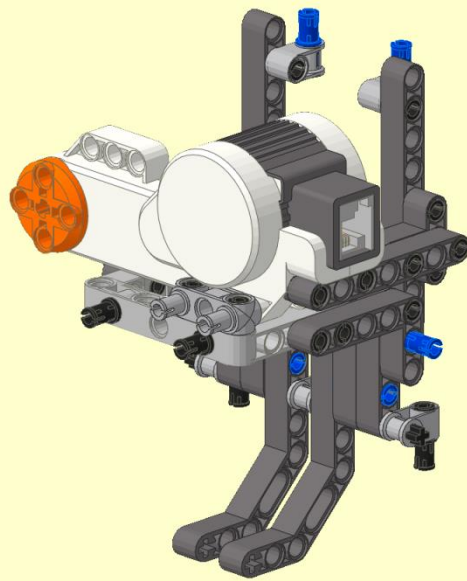
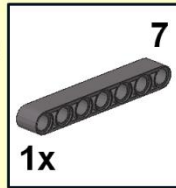
33

12



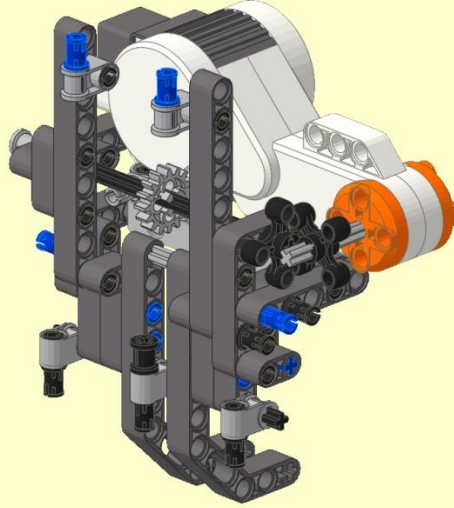
34

13



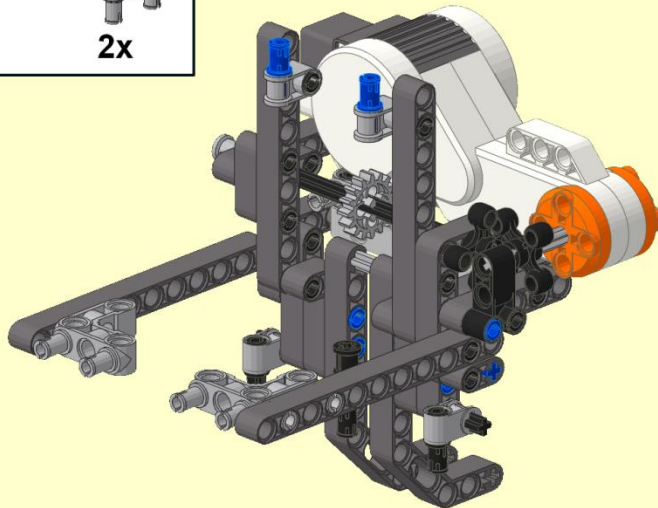
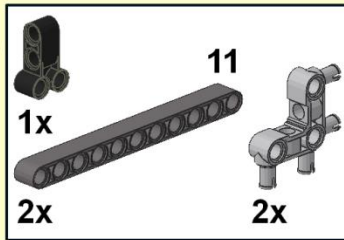
35

14



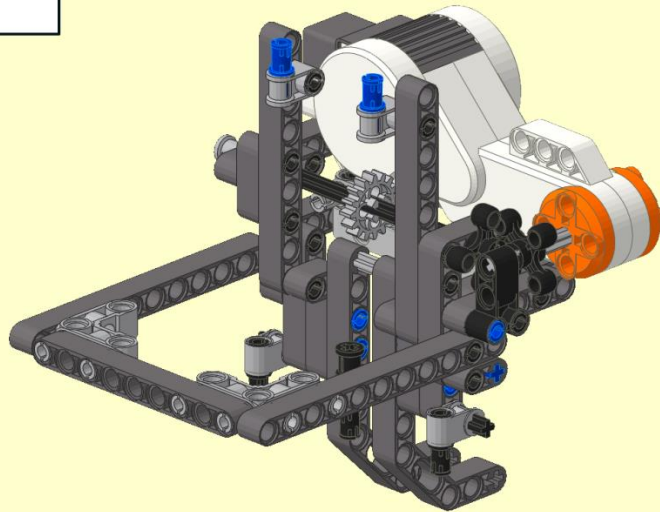
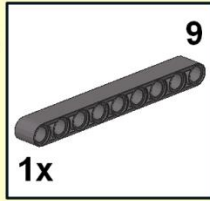
36

15



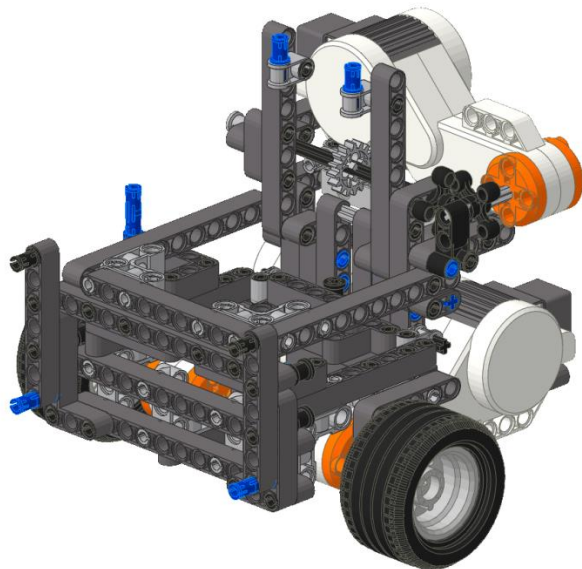
37

16



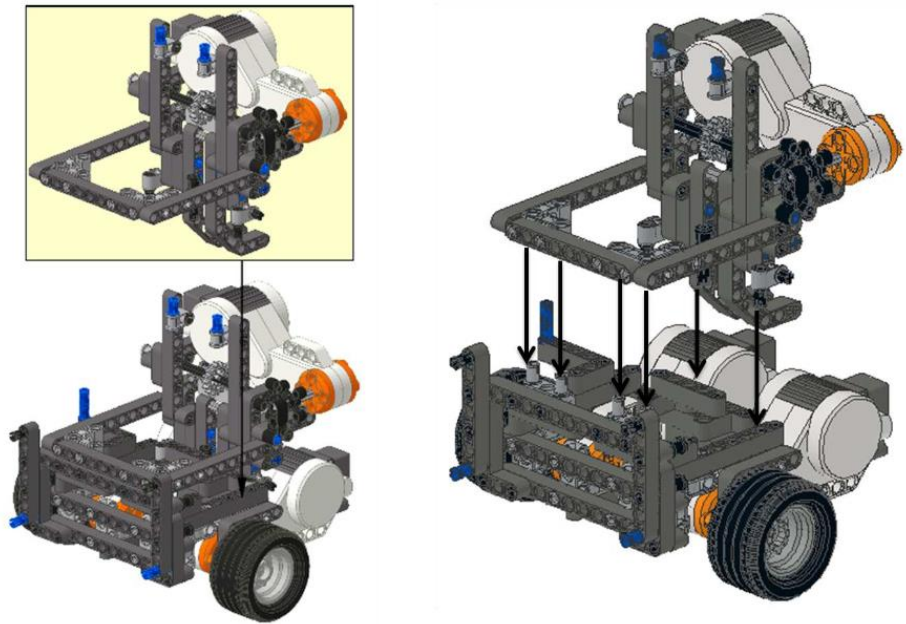
38

2

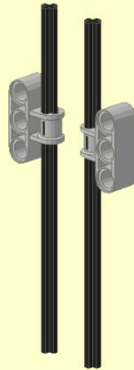
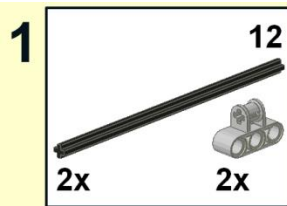


39

312

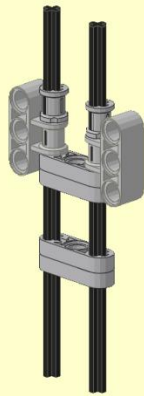


40

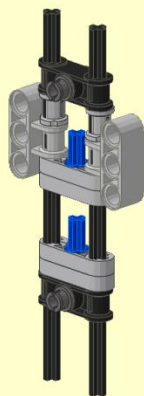


41

**2**  
4x 2x



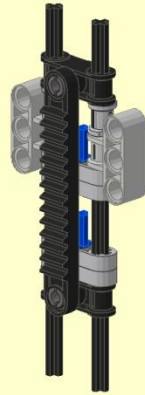
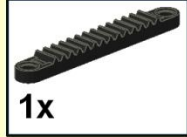
**3**  
2x 2x 2x



42

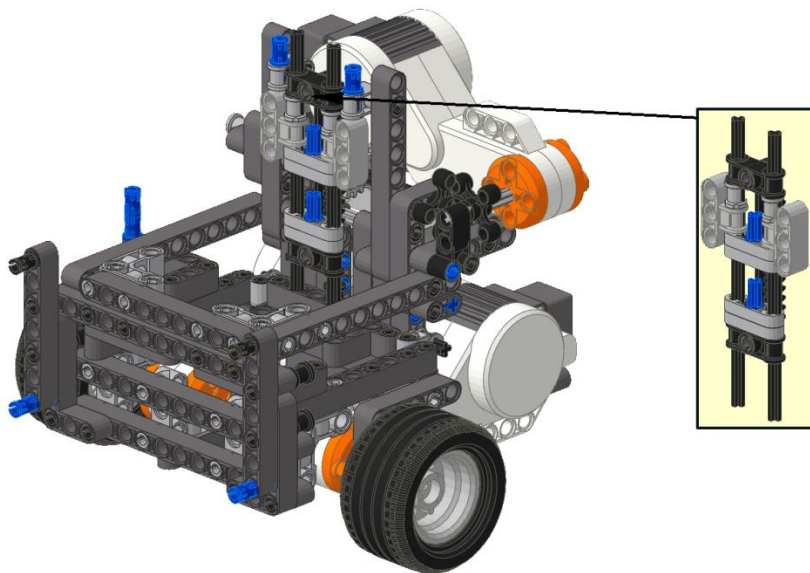
43

4



44

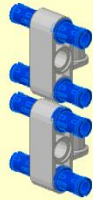
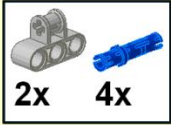
3



45

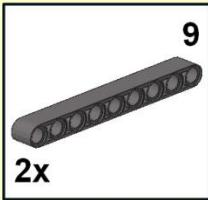
315

1



46

2



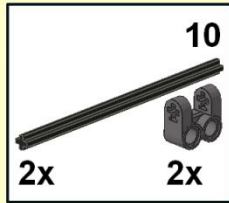
47

3



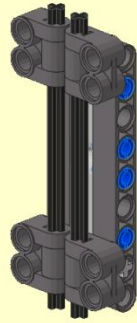
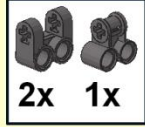
48

4



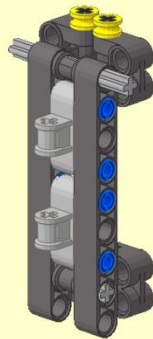
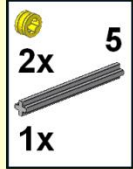
49

5



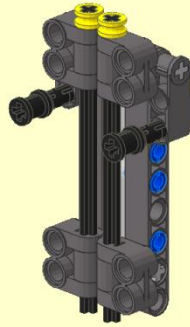
50

6



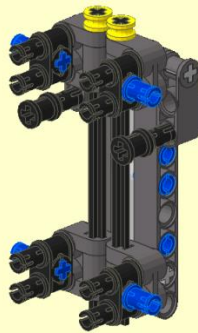
51

7



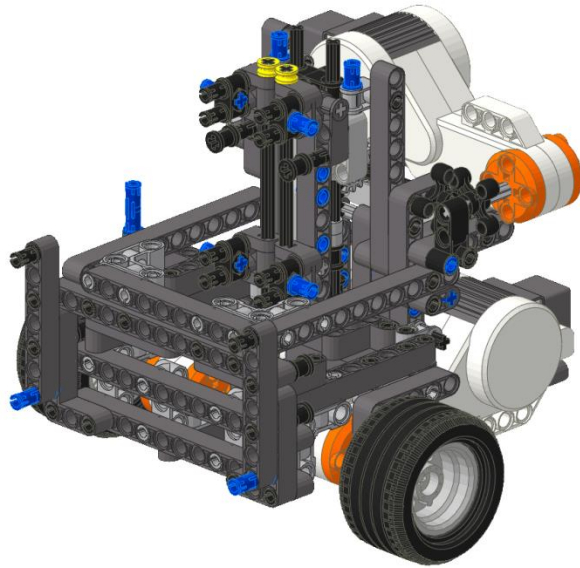
52

8

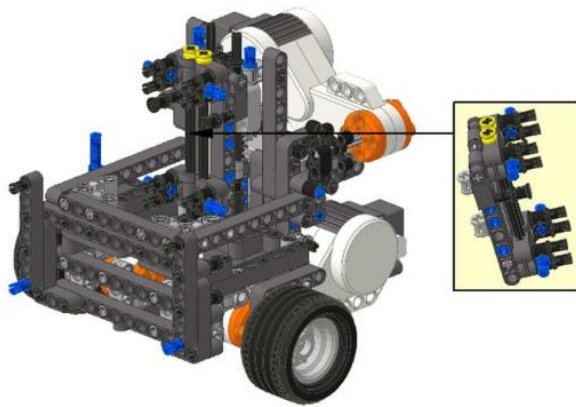


53

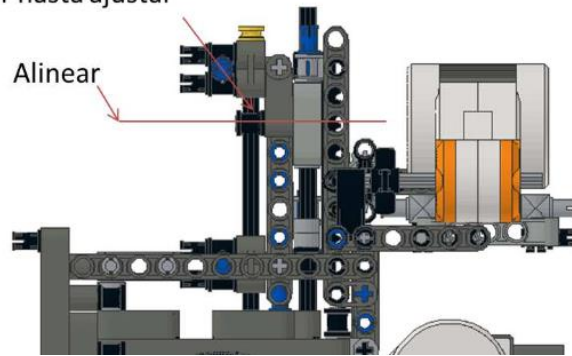
4



54

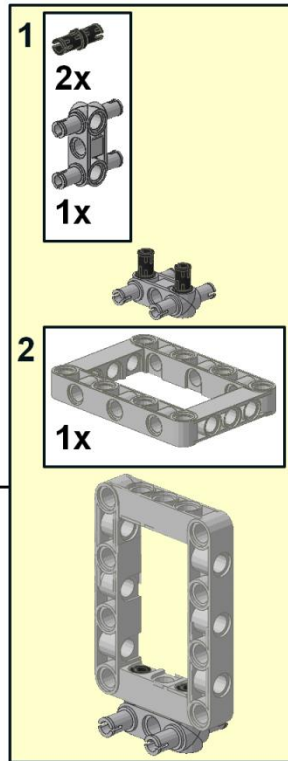
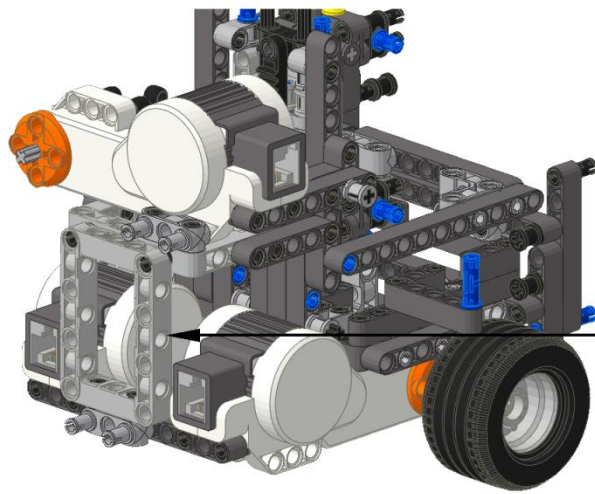


Mover hasta ajustar

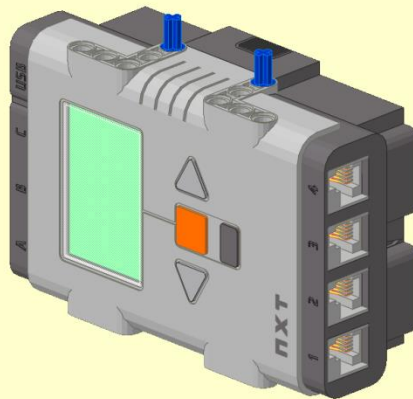
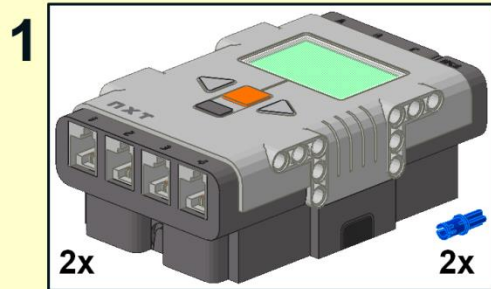


55

5

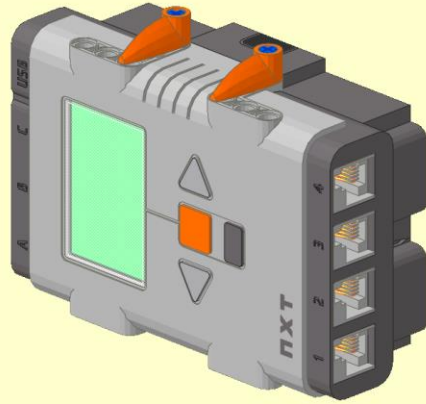


56

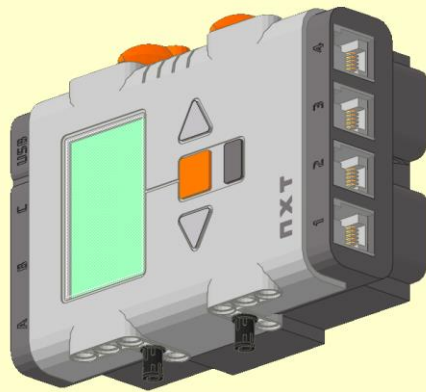


57

2  2x




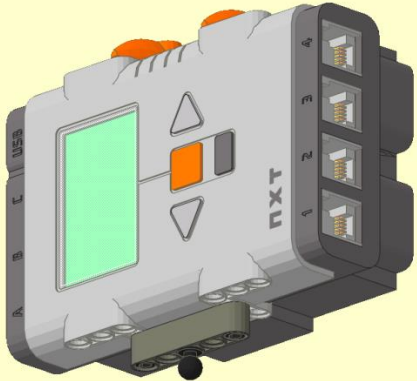
3  2x



58

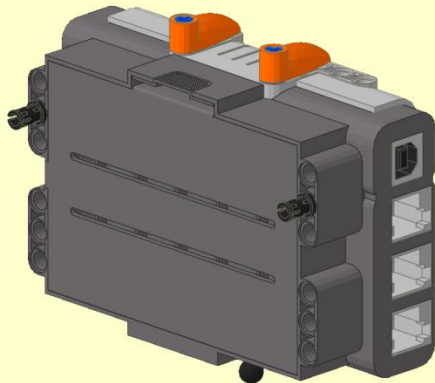
59

- 4**
- 1x 
  - 5 
  - 1x 



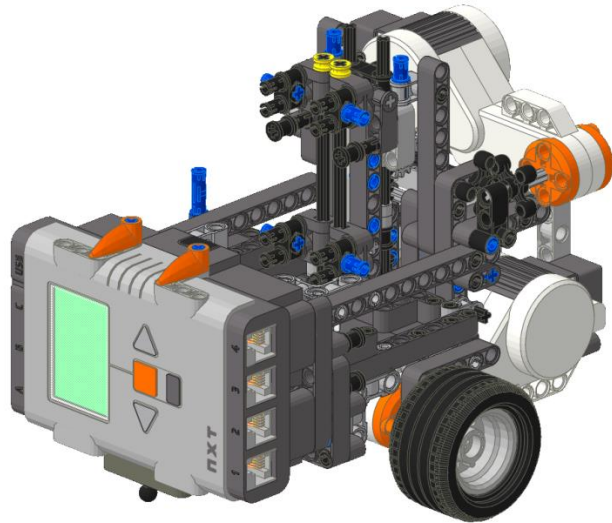
60

- 5**
- 2x 

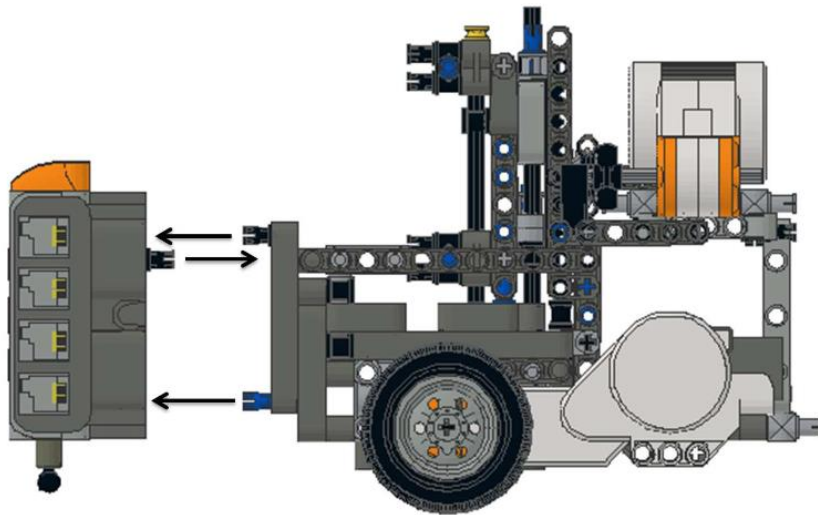


61

6



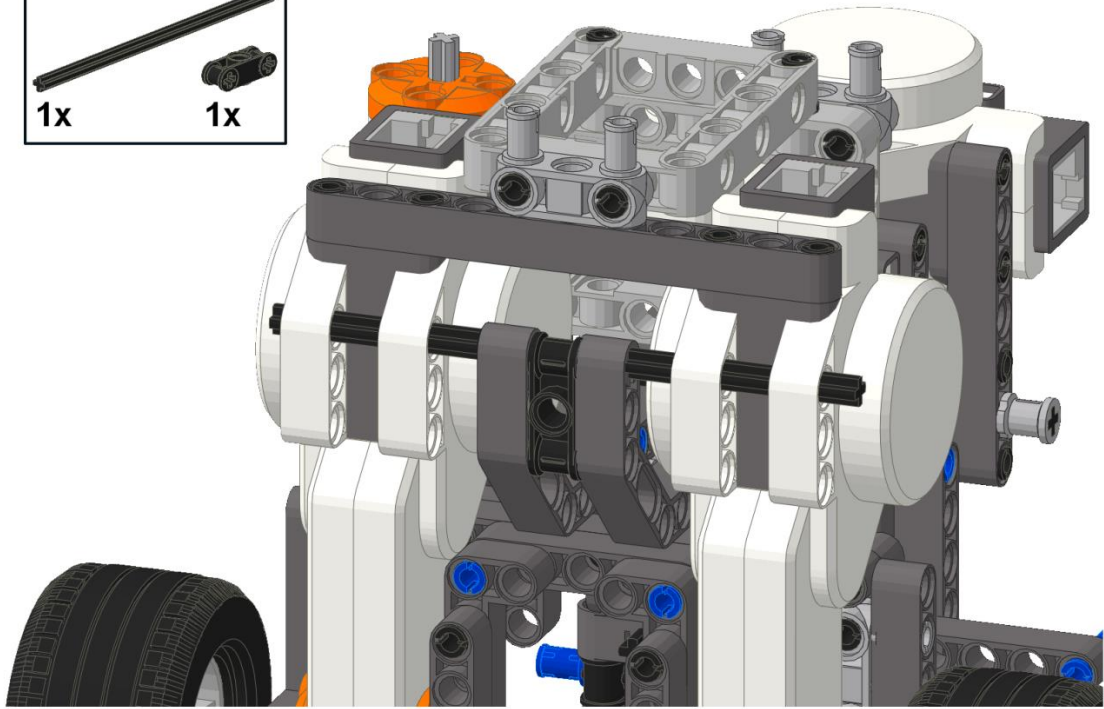
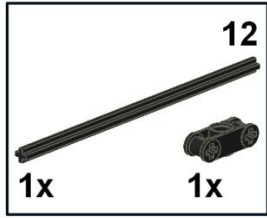
62



63

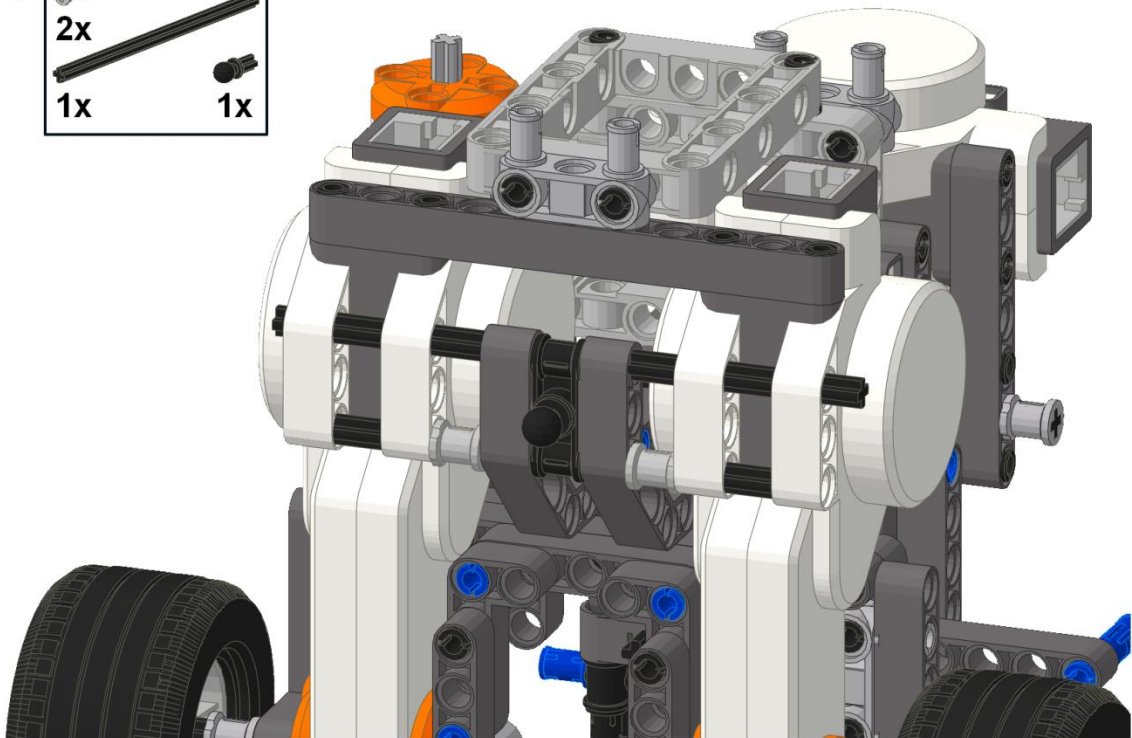
324

7



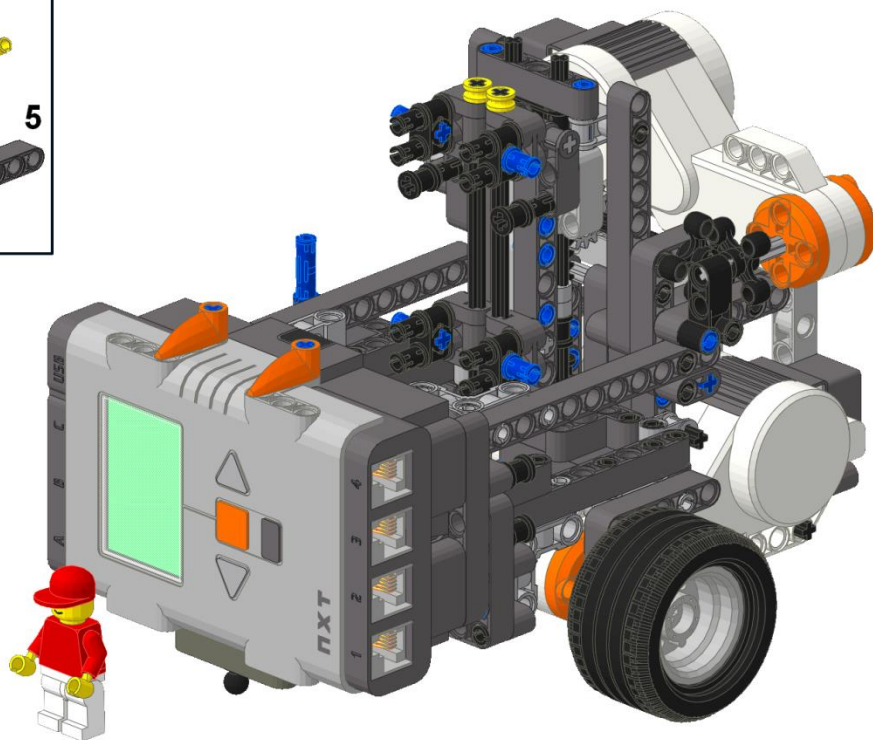
64

8



65

- 9
- 1x
  - 5
  - 1x



66

- 1
- 3x
  - 1x



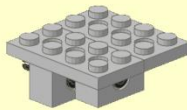
67

**2**  
1x





68

**3**  
2x





69

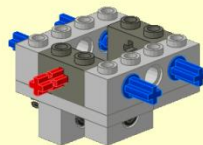
**4**

	
<b>3x</b>	<b>2x</b>



**5**

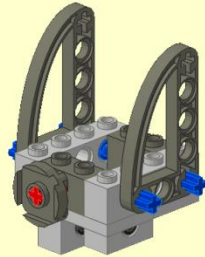
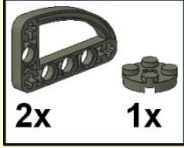
	
<b>1x</b>	<b>4x</b>



70

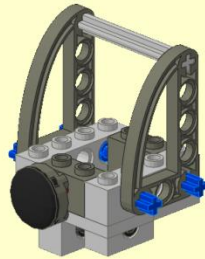
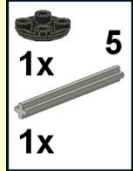
71

6



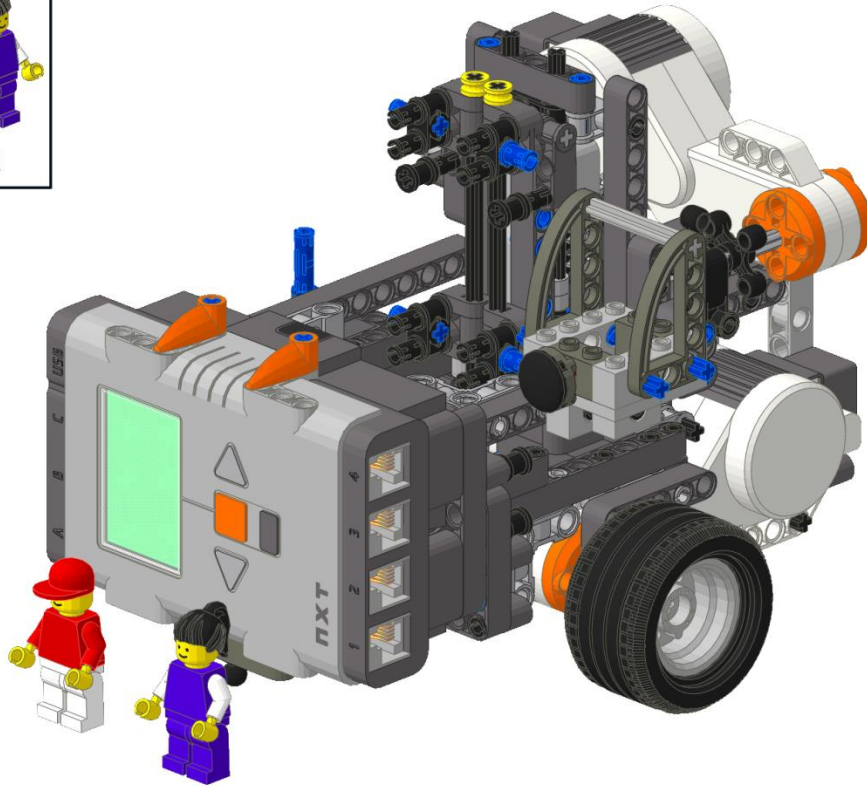
72

7

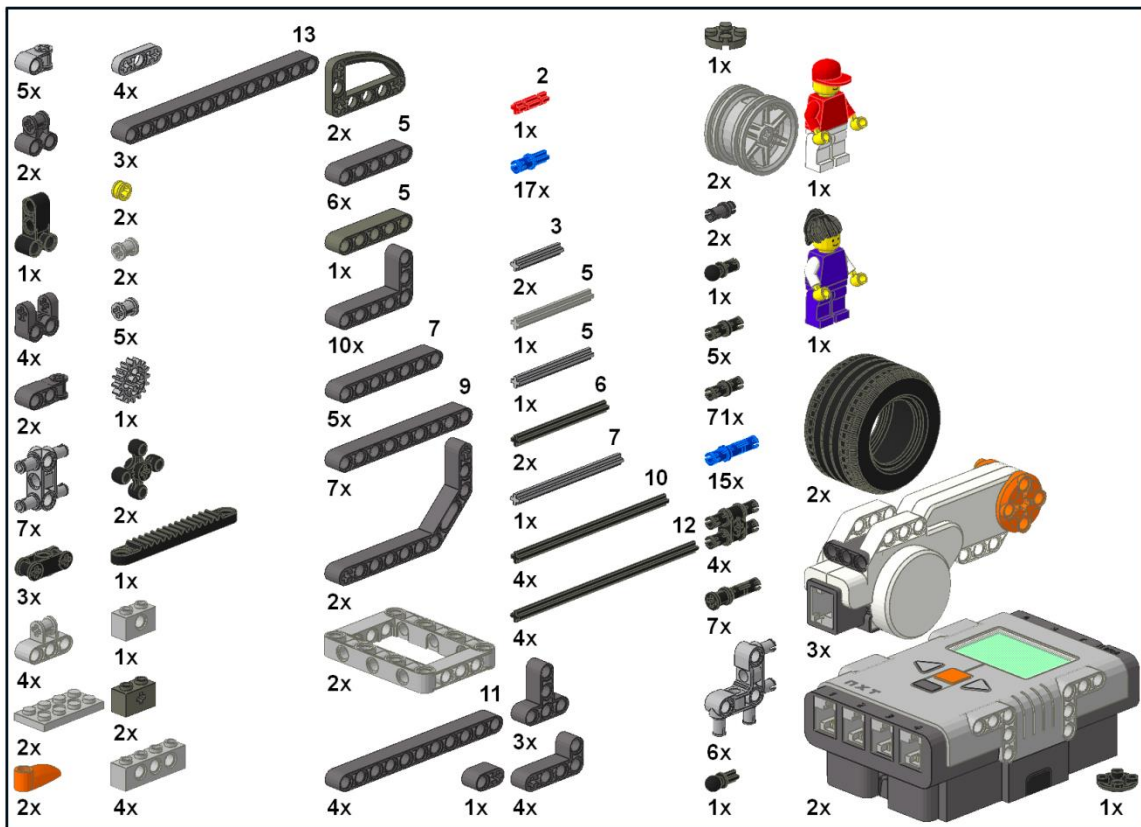


73

10



74



75

## Cableado y Montaje del Instrumento de Dibujo

### Cableado

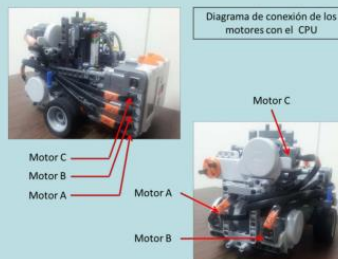
1. El cableado de los motores se debe realizar utilizando los cables provistos por LEGO en los sets. Los puertos de conexión cuentan con una forma específica, por lo cual no es compatible con la mayoría de opciones disponibles en el mercado.

Para un cableado eficiente se recomienda utilizar tres cables de 36 cm de largo cada uno y etiquetarlos como se muestra en la siguiente figura,



Cable etiquetado.

2. La etiqueta indica el puerto al cual será conectado, los motores van conectados en los puertos A, B, C del módulo 4 (CPU),



Conexión de los motores a los puertos del CPU.

### Montaje del instrumento de dibujo

La etapa final del ensamble consiste en montar el instrumento de dibujo en el módulo 5.

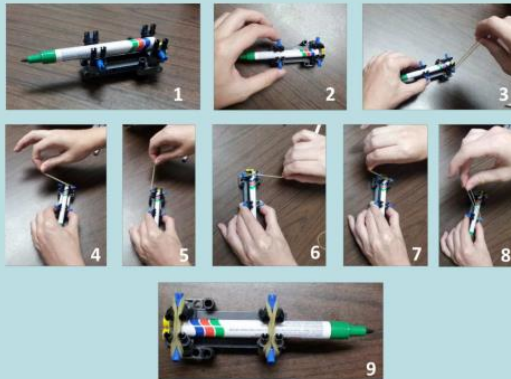


Materiales para dibujar.

Como ya se indicó es posible utilizar marcadores de diferentes tamaños, lápices, lapiceros y diferentes tipos de instrumentos en el robot. También, es necesario contar con dos bandas de hule delgadas, para completar el montaje.

78

### Montaje del instrumento de dibujo



El montaje del marcador se realiza mediante la siguiente secuencia:

1. Coloque el instrumento de dibujo en medio de las tenazas de color negro, de manera que se apoye firmemente en ambas.
2. Cierre las tenazas con una mano hasta que hagan contacto con el instrumento de dibujo.
3. Mientras sostiene firmemente el módulo con una mano, utilice su otra mano para enganchar una de las bandas de hule alrededor de uno de los pines azules como se muestra.

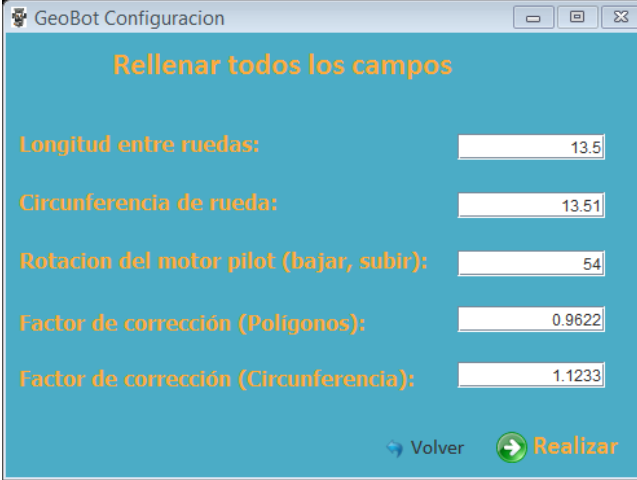
4. Deslice la banda de hule que esta enganchada, en medio de los dos pares de pines negros, hasta que llegue al otro lado donde se ubica el segundo pin azul.
5. Enrolle la banda de hule alrededor del segundo pin azul de manera que quede lista para repetir el paso 4.
6. Repita los pasos 4 y 5 de manera que la banda de hule se enrolle totalmente.
7. Enganche la parte final de la banda de hule al pin azul que tenga más cercano.
8. Asegúrese que toda la banda se encuentre tensa, en caso contrario, vuelva a comenzar.
9. Repita los pasos del 1 al 7 para el otro par de tenazas utilizando una nueva banda de hule.
10. Asegúrese de que ambas bandas se hayan enrollado como se muestra en la Figura.

Nota: La altura del instrumento de dibujo con respecto al papel donde dibujará, varía según cada caso. Por tanto se recomienda repetir el proceso, para variar dicha altura, si se observa que la línea del dibujo no es la deseada.

79

## Apéndice D. Guía para el ajuste del comportamiento del robot

El ajuste del comportamiento del robot se inicia mediante la selección de los parámetros geométricos adecuados, en el menú de configuración del software de control. Tal como lo muestra la figura, el software necesita conocer:



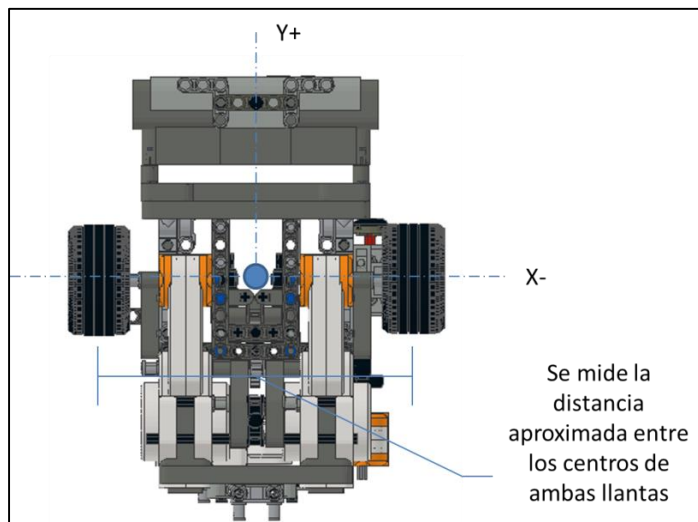
The screenshot shows a window titled "GeoBot Configuración" with a blue background. The main heading is "Rellenar todos los campos". There are five input fields with their respective values:

Parámetro	Valor
Longitud entre ruedas:	13.5
Circunferencia de rueda:	13.51
Rotacion del motor pilot (bajar, subir):	54
Factor de corrección (Poligonos):	0.9622
Factor de corrección (Circunferencia):	1.1233

At the bottom right, there are two buttons: "Volver" (with a blue arrow icon) and "Realizar" (with a green arrow icon).

- La longitud entre ruedas del robot

Este parámetro se explica adecuadamente observando la siguiente figura,



Interpretación correcta de la distancia entre ruedas.

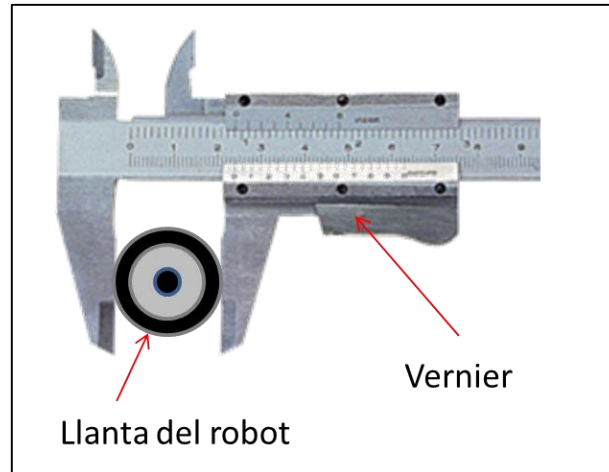
La distancia se mide entre los centros de ambas ruedas, de manera aproximada.

- La circunferencia de cada rueda

Utilizando la ecuación siguiente que define la longitud de la circunferencia en términos del diámetro de la llanta, se calcula esta última:

$$C_{LL} = \pi \cdot D_{LL}$$

Para lograrlo se mide mediante un vernier el diámetro como se muestra:



Medida del diámetro de la llanta.

- El factor de corrección para los polígonos<sup>60</sup>

El cálculo preciso de este factor se explicó con detalle en el capítulo 6. Para efectos del presente capítulo, se indica un factor de corrección ubicado en el siguiente rango 0.9596 – 1.0267. Para efectos de la programación se seleccionó la mediana de los datos mostrados en el cuadro 26, ya que está

---

<sup>60</sup> El factor de corrección de polígonos está aplicado sobre el cálculo de los ángulos internos del mismo. Por tanto se puede decir que es un factor de corrección de ángulos

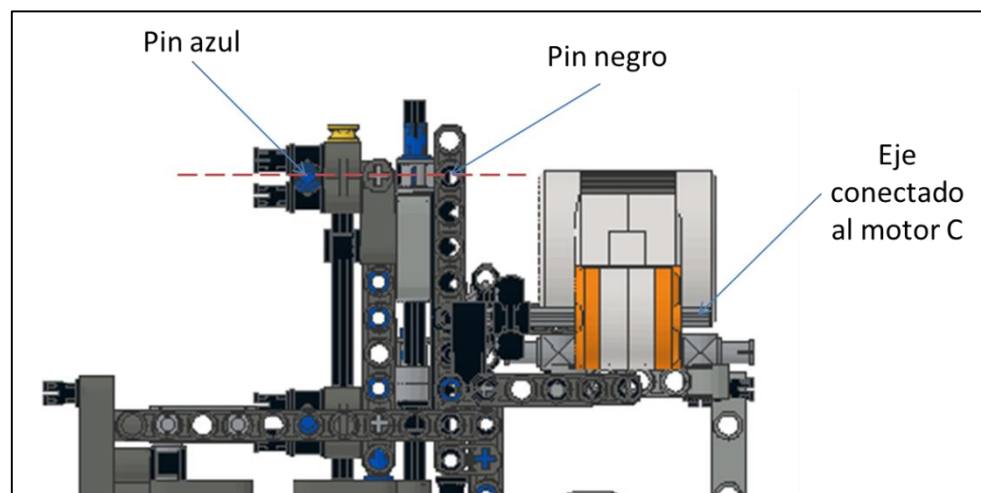
ubicado en el centro del rango obtenido. Por tanto, el factor de corrección seleccionado fue .9622.

- El factor de corrección para la circunferencia

Como en el caso anterior, el factor de corrección está entre un rango de valores como lo muestra el cuadro 35 del capítulo 6. En este caso, el rango es 1.1179 – 1.1420. Y la mediana es igual al factor de corrección y su valor es 1.1233.

- La rotación del motor.

Este valor depende completamente de la posición del instrumento de dibujo en el módulo 5, por lo que su valor debe calcularse empíricamente. En el caso del presente trabajo, se le asignó un valor de 54 grados, lo cual corresponde al ángulo que debe rotar el motor C desde la posición superior, la cual se muestra en la figura siguiente, hasta la posición inferior (cuando el instrumento de dibujo toca el papel).



Definición de posición superior para el instrumento de dibujo.

La posición superior se logra cuando el “pin azul” y el “pin negro” están alineados. El usuario debe asegurarse de que antes de comenzar a trabajar el módulo 5 se

encuentre en posición superior, rotando manualmente el eje del motor C. Luego debe verificar que el instrumento de dibujo toque el papel, rotando de manera inversa el motor C hasta que esto ocurra. No se debe mover manualmente el motor C si el robot se encuentra prendido.

Una vez obtenidos dichos datos, se introducen en el menú mostrado en la figura inicial de este apéndice.

## Apéndice E. Datos y análisis estadístico

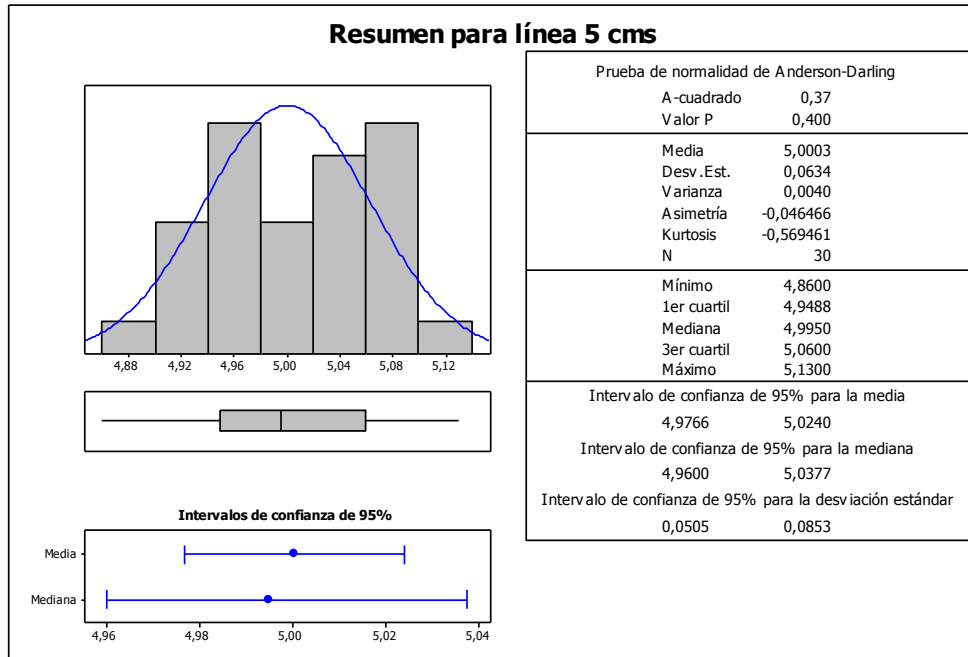
### Líneas rectas sin factor de corrección

Cuadro 40. Medidas para 30 líneas rectas de 5 centímetros

Tamaño teórico de la línea: 5 cm					
#	medida <sup>61</sup>	#	medida	#	medida
1	5,130	11	4,990	21	4,925
2	4,925	12	5,025	22	5,040
3	4,950	13	4,965	23	5,060
4	4,960	14	5,020	24	4,960
5	5,050	15	5,085	25	4,940
6	5,030	16	4,920	26	5,060
7	4,960	17	4,990	27	5,025
8	5,060	18	5,065	28	5,060
9	4,925	19	4,990	29	4,860
10	5,095	20	4,945	30	5,000

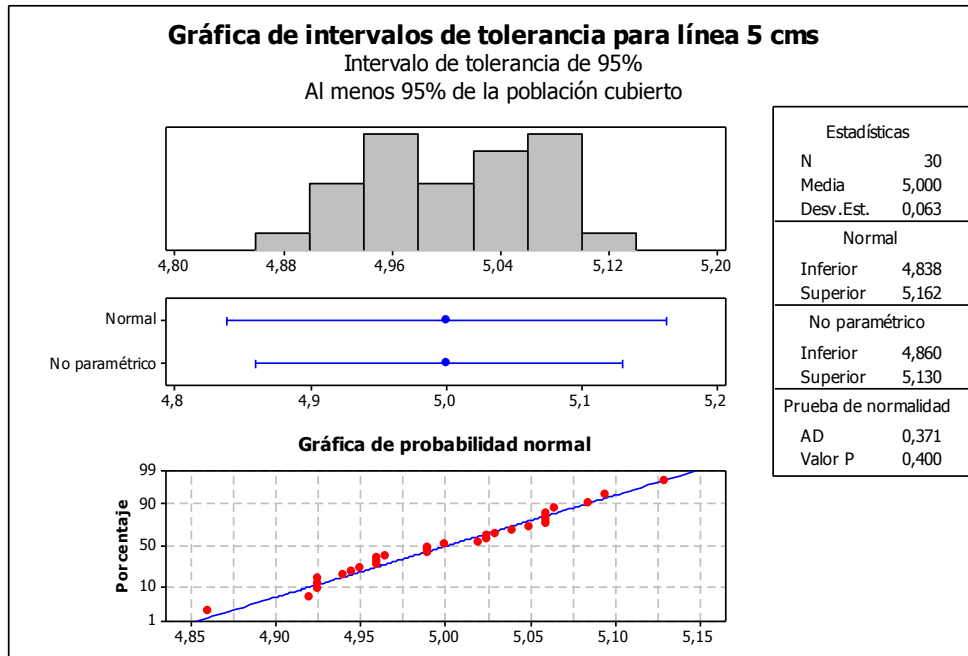
Fuente: Creación propia

<sup>61</sup> Las medidas para los segmentos de líneas se hizo utilizando un Vernier para obtener 3 decimales de exactitud.



Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 134. Resumen estadístico para las mediciones de líneas rectas de 5 cm.



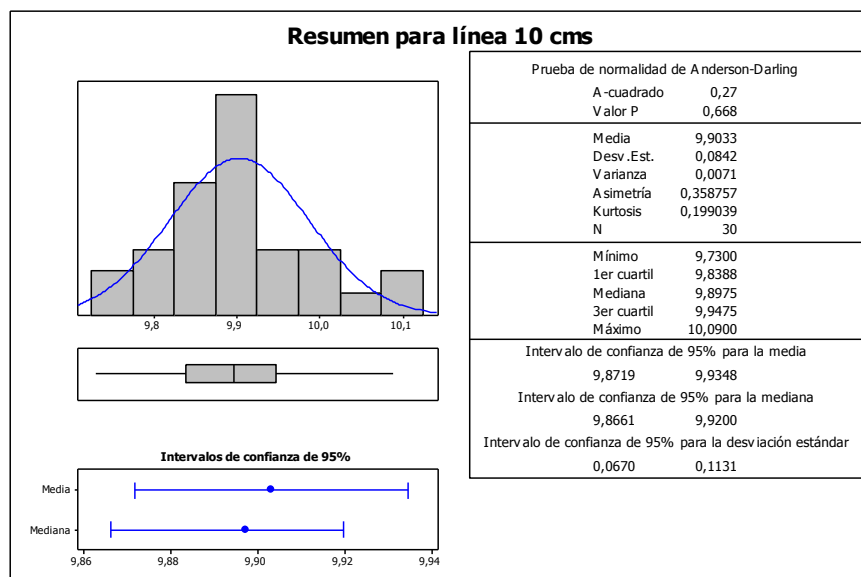
Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 135. Intervalos de tolerancia para las mediciones de líneas rectas de 5 cm.

Cuadro 41. Medidas para 30 líneas rectas de 10 centímetros

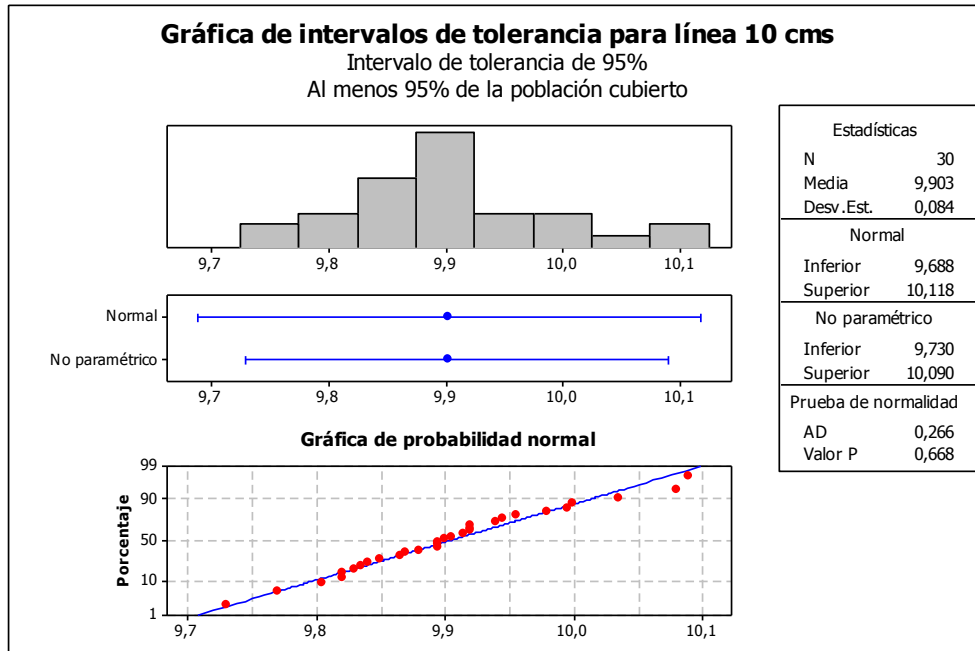
Tamaño teórico de la línea: 10 cm					
#	medida	#	medida	#	medida
1	10,035	11	9,920	21	9,895
2	9,905	12	9,920	22	9,895
3	9,820	13	10,090	23	9,865
4	9,840	14	9,940	24	9,870
5	9,805	15	9,900	25	9,895
6	9,835	16	10,00	26	9,955
7	9,995	17	9,980	27	9,880
8	10,080	18	9,850	28	9,730
9	9,920	19	9,770	29	9,945
10	9,915	20	9,830	30	9,820

Fuente: Creación propia



Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 136. Resumen estadístico para las mediciones de líneas rectas de 10 cm.



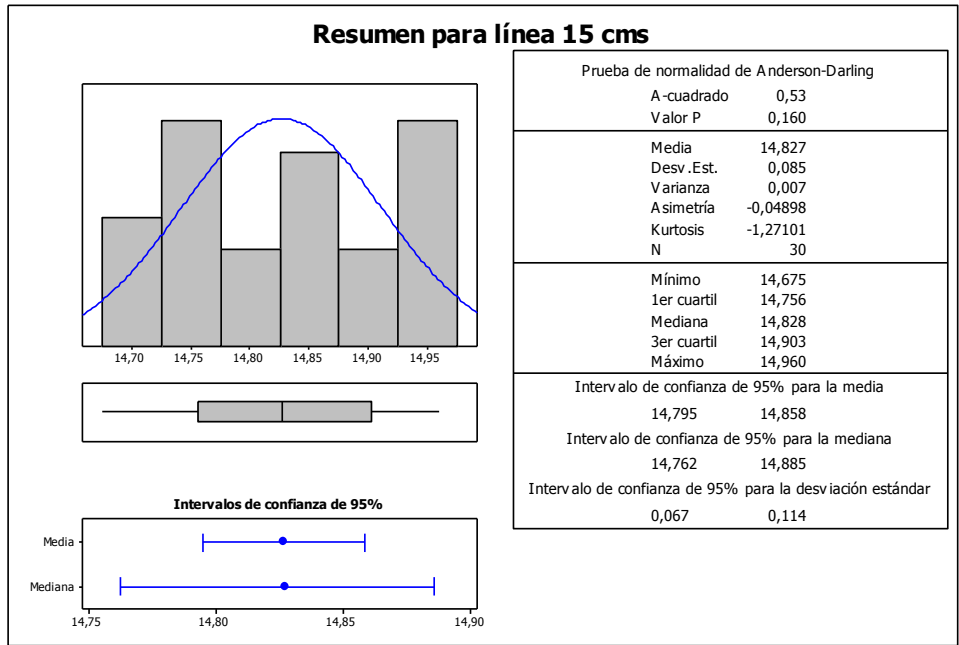
Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 137. Intervalos de tolerancia para las mediciones de líneas rectas de 10 cm

Cuadro 42. Medidas para 30 líneas rectas de 15 centímetros

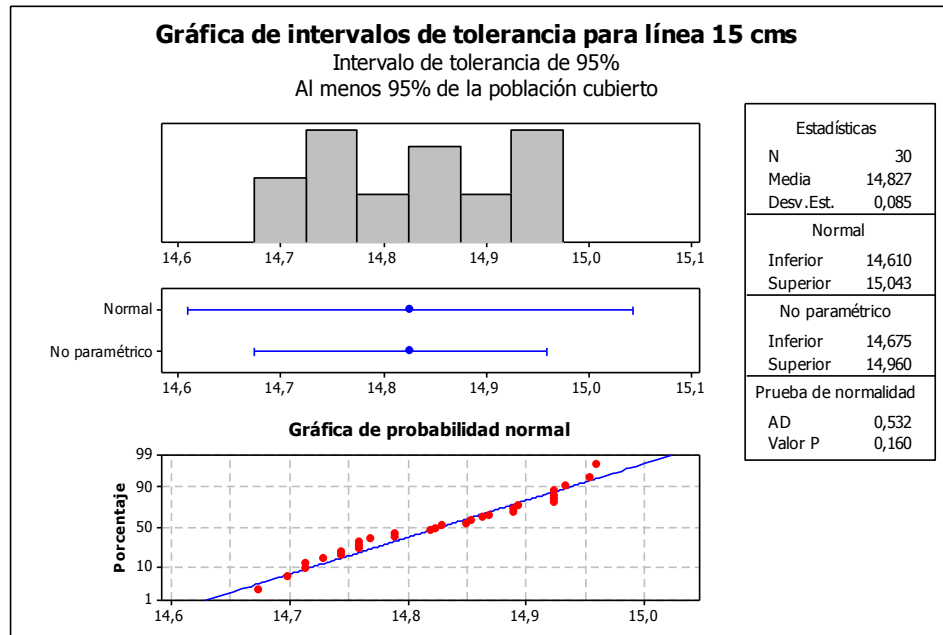
<b>Tamaño teórico de la línea: 15 cm</b>					
#	medida	#	medida	#	medida
<b>1</b>	14,820	<b>11</b>	14,850	<b>21</b>	14,955
<b>2</b>	14,825	<b>12</b>	14,760	<b>22</b>	14,925
<b>3</b>	14,715	<b>13</b>	14,830	<b>23</b>	14,925
<b>4</b>	14,715	<b>14</b>	14,760	<b>24</b>	14,745
<b>5</b>	14,675	<b>15</b>	14,760	<b>25</b>	14,730
<b>6</b>	14,925	<b>16</b>	14,700	<b>26</b>	14,925
<b>7</b>	14,935	<b>17</b>	14,890	<b>27</b>	14,855
<b>8</b>	14,895	<b>18</b>	14,890	<b>28</b>	14,790
<b>9</b>	14,870	<b>19</b>	14,745	<b>29</b>	14,790
<b>10</b>	14,865	<b>20</b>	14,770	<b>30</b>	14,960

Fuente: Creación propia



Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 138. Resumen estadístico para las mediciones de líneas rectas de 15 cm.



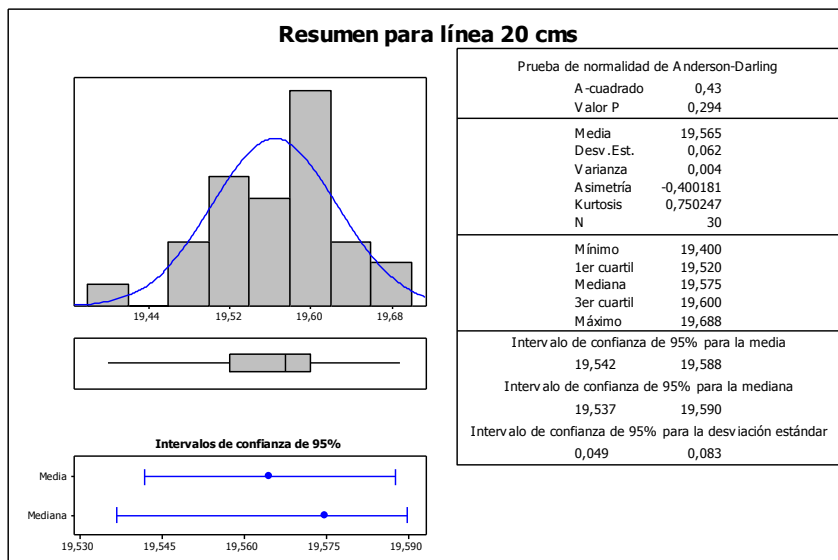
Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 139. Intervalos de tolerancia para las mediciones de líneas rectas de 15 cm

Cuadro 43. Medidas para 30 líneas rectas de 20 centímetros

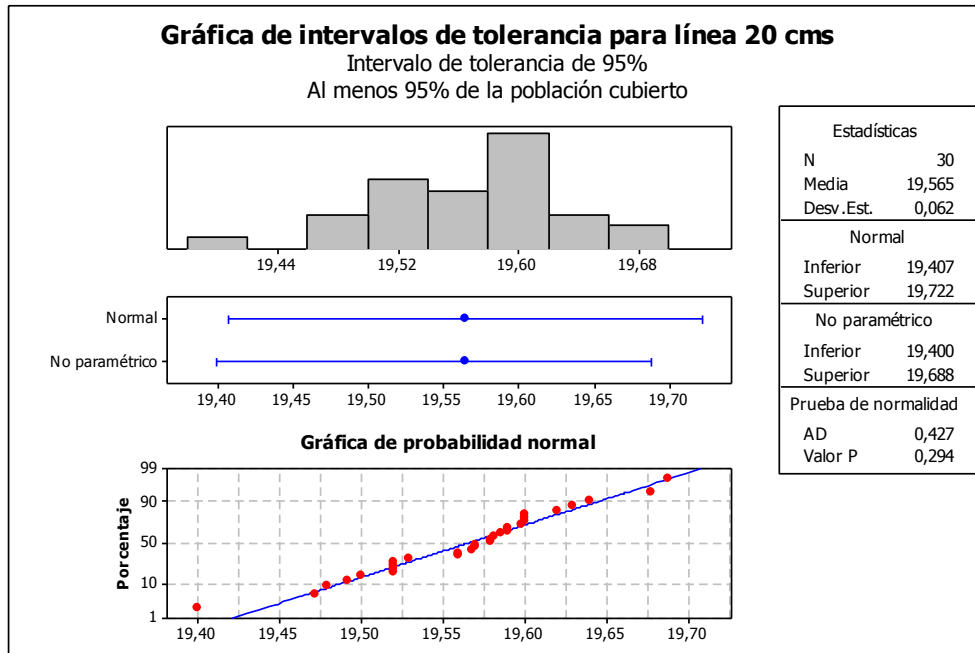
Tamaño teórico de la línea: 20 cm					
#	medida	#	medida	#	medida
1	19,580	11	19,590	21	19,570
2	19,580	12	19,582	22	19,400
3	19,600	13	19,678	23	19,492
4	19,630	14	19,500	24	19,590
5	19,570	15	19,640	25	19,560
6	19,520	16	19,600	26	19,530
7	19,560	17	19,688	27	19,568
8	19,600	18	19,598	28	19,586
9	19,520	19	19,472	29	19,520
10	19,620	20	19,520	30	19,480

Fuente: Creación propia



Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 140. Resumen estadístico para las mediciones de líneas rectas de 20 cm



Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

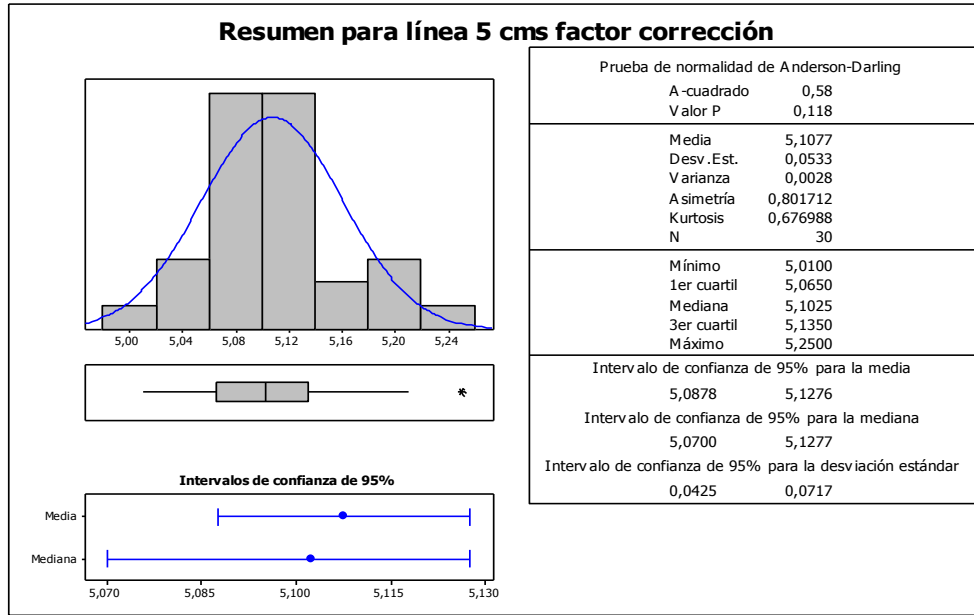
Figura 141. Intervalos de tolerancia para las mediciones de líneas rectas de 20 cm

## Líneas rectas con factor de corrección

Cuadro 44. Medidas para 30 líneas rectas de 5 centímetros con factor de corrección

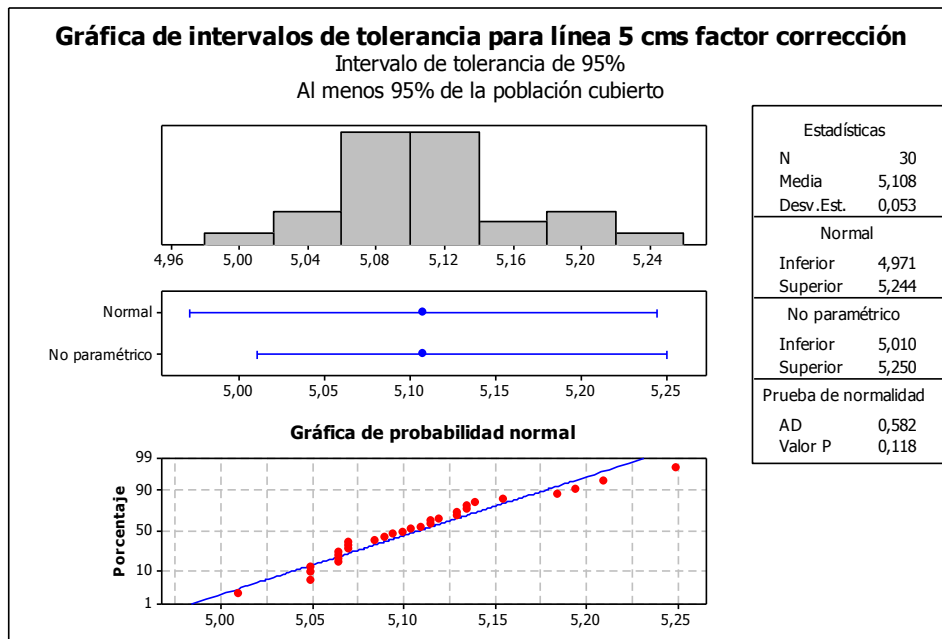
<b>Tamaño teórico de la línea: 5 cm</b>					
<b>#</b>	<b>medida</b>	<b>#</b>	<b>medida</b>	<b>#</b>	<b>Medida</b>
<b>1</b>	5,100	<b>11</b>	5,135	<b>21</b>	5,065
<b>2</b>	5,010	<b>12</b>	5,115	<b>22</b>	5,120
<b>3</b>	5,115	<b>13</b>	5,110	<b>23</b>	5,195
<b>4</b>	5,050	<b>14</b>	5,070	<b>24</b>	5,105
<b>5</b>	5,140	<b>15</b>	5,250	<b>25</b>	5,135
<b>6</b>	5,090	<b>16</b>	5,130	<b>26</b>	5,155
<b>7</b>	5,130	<b>17</b>	5,050	<b>27</b>	5,050
<b>8</b>	5,085	<b>18</b>	5,070	<b>28</b>	5,065
<b>9</b>	5,185	<b>19</b>	5,095	<b>29</b>	5,065
<b>10</b>	5,070	<b>20</b>	5,210	<b>30</b>	5,065

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.



Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 142. Resumen estadístico para las mediciones de líneas rectas de 5 cm con factor de corrección



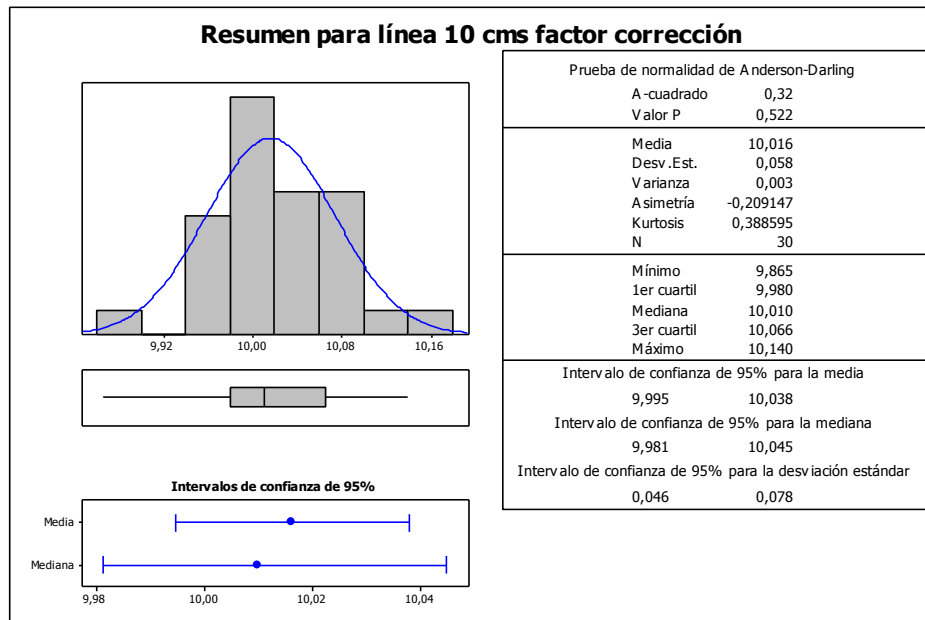
Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 143. Intervalos de tolerancia para las mediciones de líneas rectas de 5 cm con factor de corrección.

Cuadro 45. Medidas para 30 líneas rectas de 10 centímetros con factor de corrección

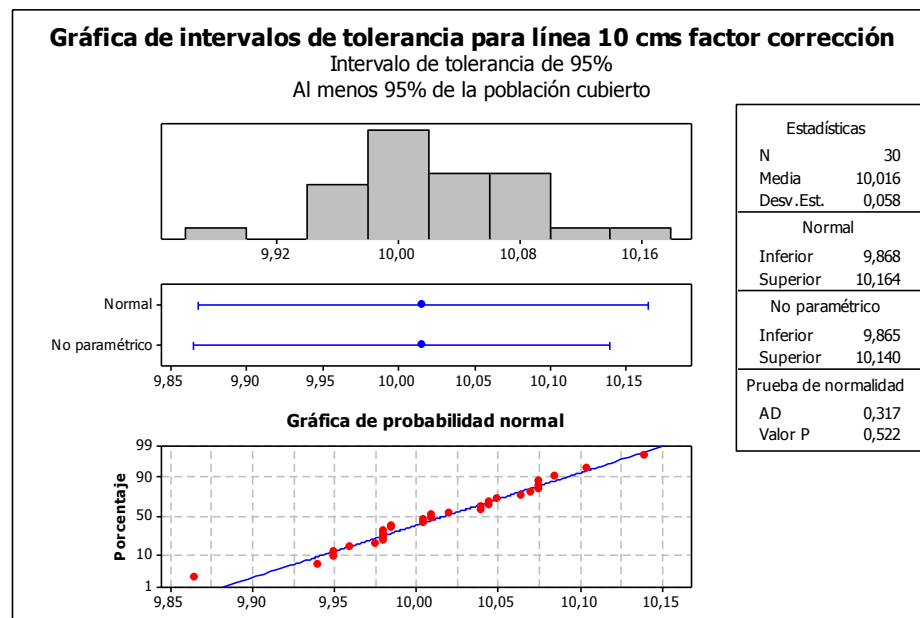
<b>Tamaño teórico de la línea: 10 cm</b>					
<b>#</b>	<b>Medida</b>	<b>#</b>	<b>medida</b>	<b>#</b>	<b>medida</b>
<b>1</b>	10,070	<b>11</b>	10,075	<b>21</b>	10,005
<b>2</b>	10,075	<b>12</b>	9,980	<b>22</b>	9,985
<b>3</b>	10,045	<b>13</b>	10,140	<b>23</b>	10,005
<b>4</b>	9,960	<b>14</b>	10,040	<b>24</b>	9,950
<b>5</b>	9,980	<b>15</b>	10,085	<b>25</b>	9,985
<b>6</b>	10,045	<b>16</b>	9,975	<b>26</b>	10,105
<b>7</b>	10,065	<b>17</b>	9,940	<b>27</b>	10,010
<b>8</b>	9,980	<b>18</b>	9,980	<b>28</b>	10,050
<b>9</b>	10,010	<b>19</b>	10,040	<b>29</b>	10,075
<b>10</b>	9,865	<b>20</b>	10,020	<b>30</b>	9,950

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.



Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 144. Resumen estadístico para las mediciones de líneas rectas de 10 cm con factor de corrección.



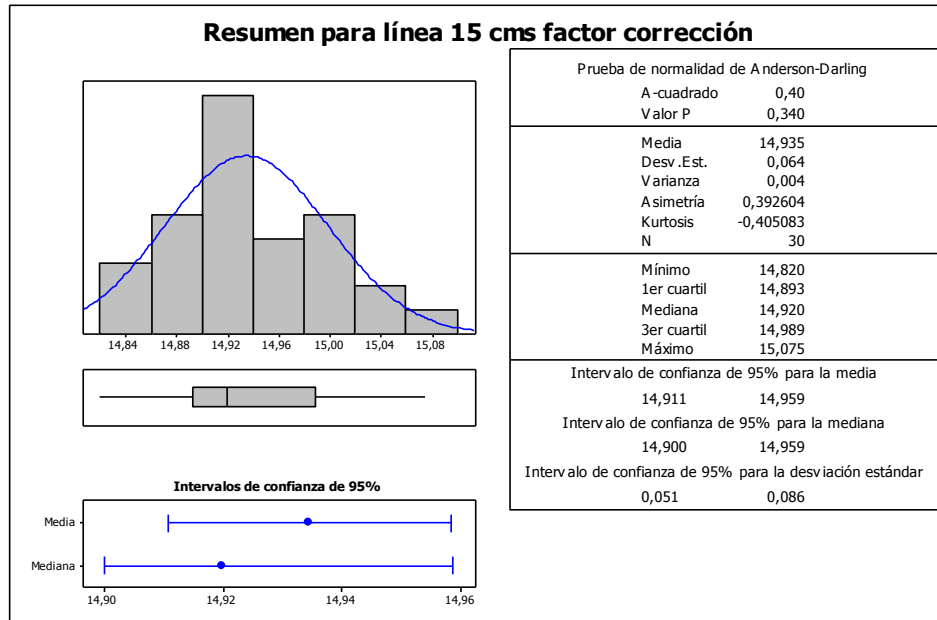
Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 145. Intervalos de tolerancia para las mediciones de líneas rectas de 10 cm con factor de corrección

Cuadro 46. Medidas para 30 líneas rectas de 15 centímetros con factor de corrección

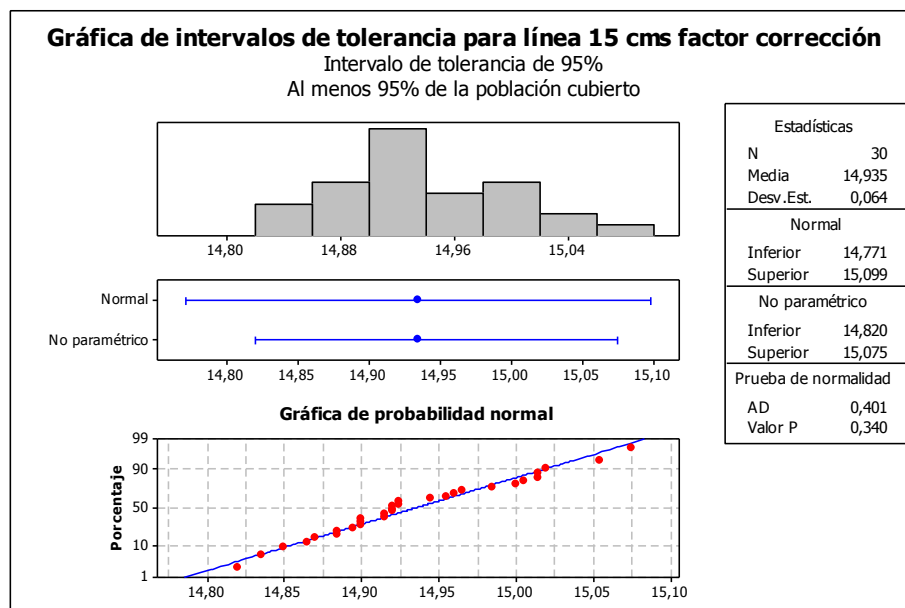
<b>Tamaño teórico de la línea: 15 cm</b>					
<b>#</b>	<b>medida</b>	<b>#</b>	<b>medida</b>	<b>#</b>	<b>medida</b>
<b>1</b>	14,945	<b>11</b>	14,865	<b>21</b>	14,885
<b>2</b>	14,955	<b>12</b>	14,920	<b>22</b>	14,915
<b>3</b>	14,985	<b>13</b>	14,925	<b>23</b>	14,820
<b>4</b>	15,075	<b>14</b>	14,920	<b>24</b>	14,960
<b>5</b>	15,020	<b>15</b>	14,850	<b>25</b>	15,005
<b>6</b>	15,055	<b>16</b>	14,920	<b>26</b>	15,000
<b>7</b>	14,900	<b>17</b>	14,900	<b>27</b>	14,87
<b>8</b>	15,015	<b>18</b>	14,915	<b>28</b>	14,965
<b>9</b>	14,895	<b>19</b>	14,835	<b>29</b>	14,925
<b>10</b>	14,900	<b>20</b>	14,885	<b>30</b>	15,015

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.



Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 146. Resumen estadístico para las mediciones de líneas rectas de 15 cm con factor de corrección



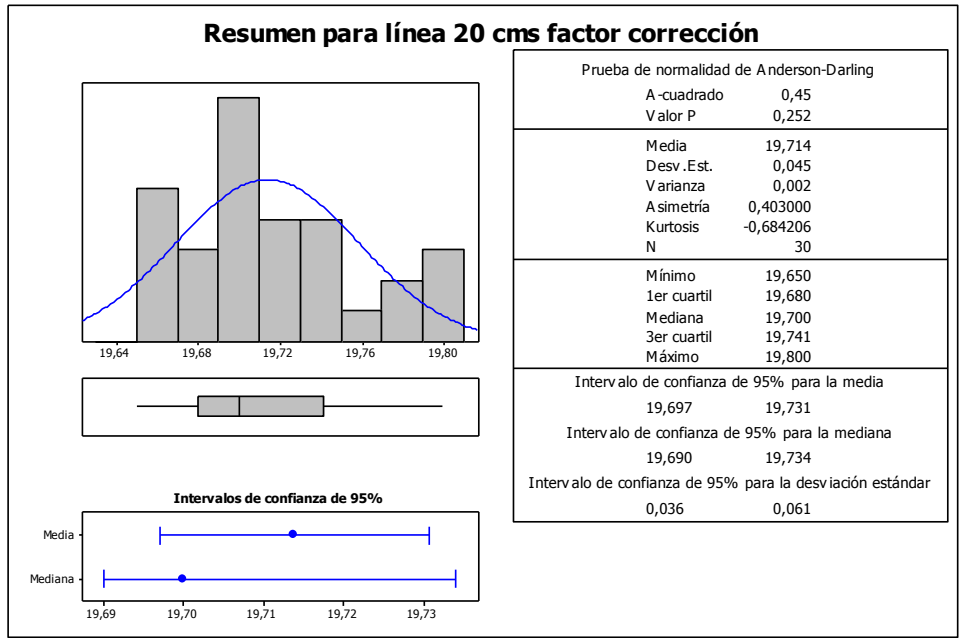
Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 147. Intervalos de tolerancia para las mediciones de líneas rectas de 15 cm con factor de corrección

Cuadro 47. Medidas para 30 líneas rectas de 20 centímetros con factor de corrección

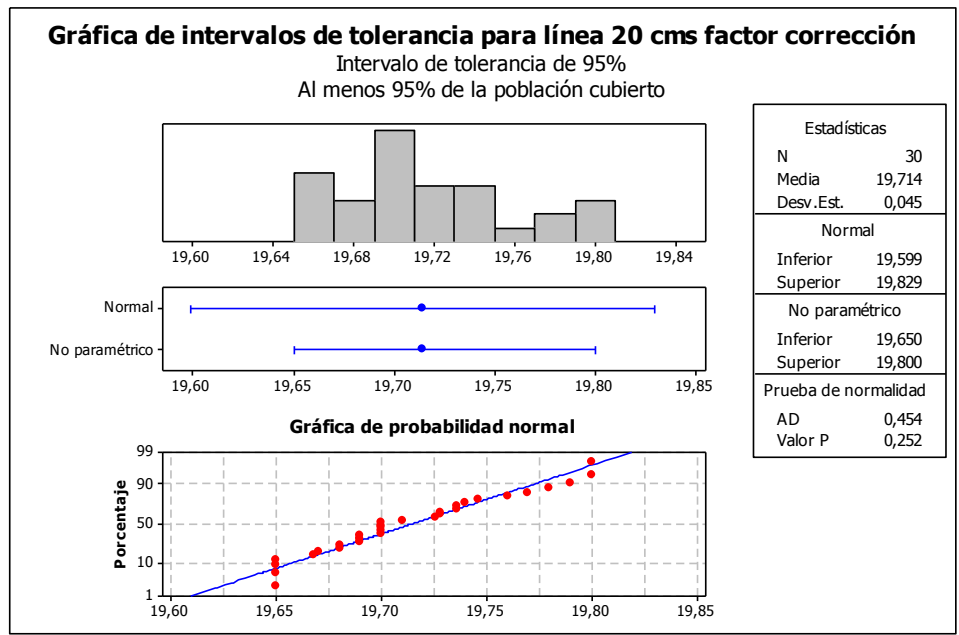
<b>Tamaño teórico de la línea: 20 cm</b>					
<b>#</b>	<b>Medida</b>	<b>#</b>	<b>medida</b>	<b>#</b>	<b>medida</b>
<b>1</b>	19,728	<b>11</b>	19,700	<b>21</b>	19,700
<b>2</b>	19,736	<b>12</b>	19,800	<b>22</b>	19,670
<b>3</b>	19,736	<b>13</b>	19,800	<b>23</b>	19,650
<b>4</b>	19,728	<b>14</b>	19,690	<b>24</b>	19,650
<b>5</b>	19,710	<b>15</b>	19,690	<b>25</b>	19,700
<b>6</b>	19,760	<b>16</b>	19,746	<b>26</b>	19,650
<b>7</b>	19,770	<b>17</b>	19,680	<b>27</b>	19,726
<b>8</b>	19,668	<b>18</b>	19,790	<b>28</b>	19,700
<b>9</b>	19,780	<b>19</b>	19,680	<b>29</b>	19,650
<b>10</b>	19,700	<b>20</b>	19,740	<b>30</b>	19,690

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.



Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 148. Resumen estadístico para las mediciones de líneas rectas de 20 cm con factor de corrección



Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 149. Intervalos de tolerancia para las mediciones de líneas rectas de 20 cm con factor de corrección

## Ángulos sin factor de corrección

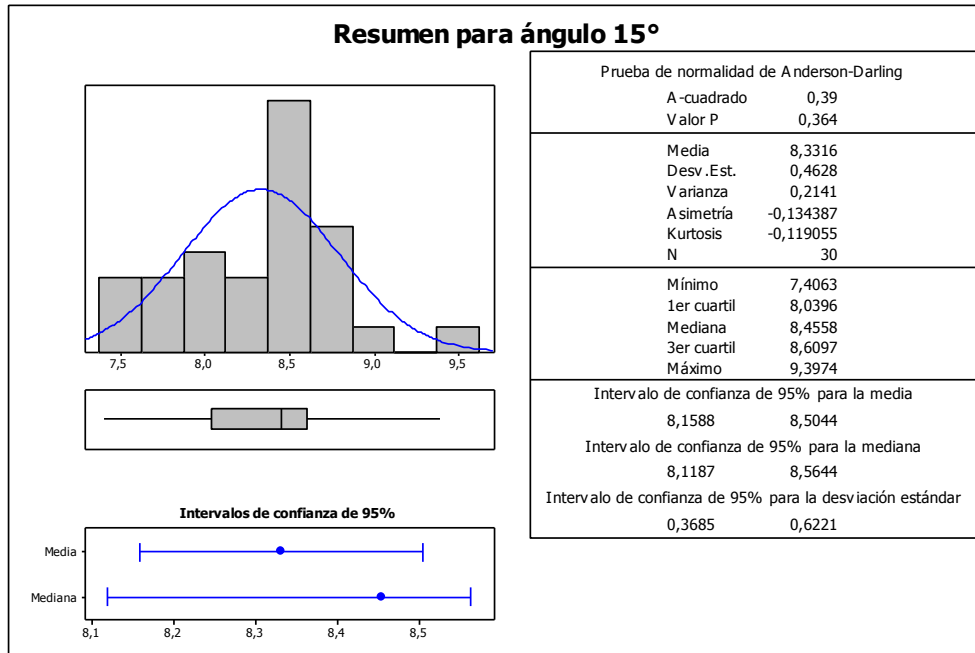
Cuadro 48. Medidas para 30 ángulos de 15°

<b>Tamaño teórico del ángulo: 15°</b>					
<b>#</b>	<b>medida<sup>62</sup></b>	<b>#</b>	<b>medida</b>	<b>#</b>	<b>Medida</b>
<b>1</b>	8,854	<b>11</b>	7,841	<b>21</b>	8,564
<b>2</b>	8,564	<b>12</b>	8,637	<b>22</b>	8,601
<b>3</b>	8,239	<b>13</b>	8,058	<b>23</b>	8,637
<b>4</b>	7,732	<b>14</b>	8,854	<b>24</b>	8,456
<b>5</b>	8,094	<b>15</b>	8,311	<b>25</b>	8,492
<b>6</b>	7,985	<b>16</b>	8,202	<b>26</b>	7,406
<b>7</b>	7,660	<b>17</b>	8,058	<b>27</b>	8,492
<b>8</b>	8,383	<b>18</b>	9,397	<b>28</b>	8,456
<b>9</b>	7,623	<b>19</b>	8,999	<b>29</b>	8,601
<b>10</b>	7,551	<b>20</b>	8,745	<b>30</b>	8,456

Fuente: Creación propia

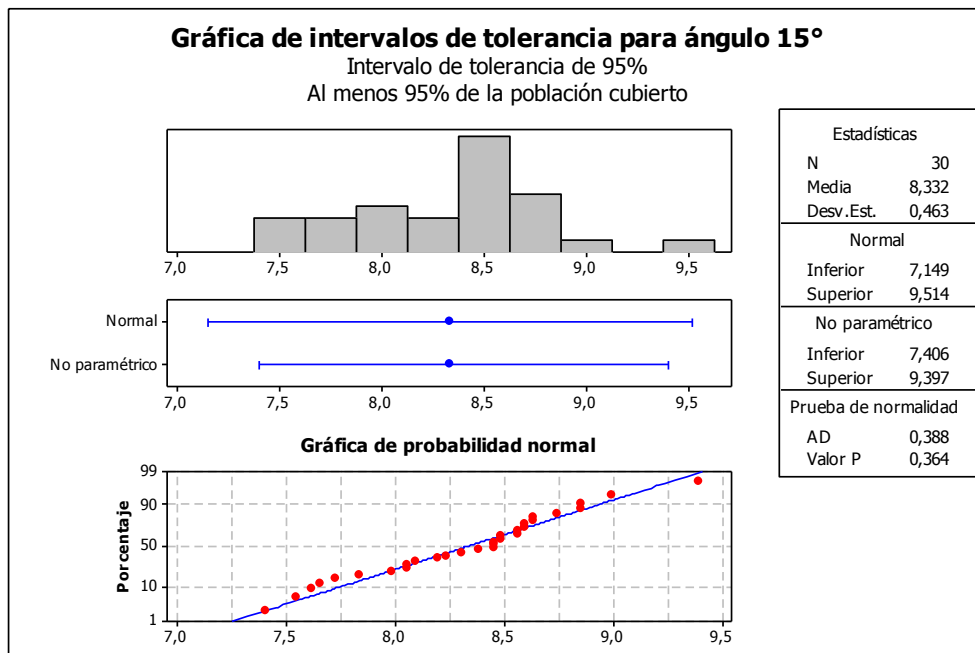
---

<sup>62</sup> Las medidas de los ángulos se hicieron midiendo los tres lados del triángulo que contenía dicho ángulo y luego se utilizó el teorema de cosenos para obtener el ángulo buscado.



Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 150. Resumen estadístico para las mediciones de ángulos de 15°.



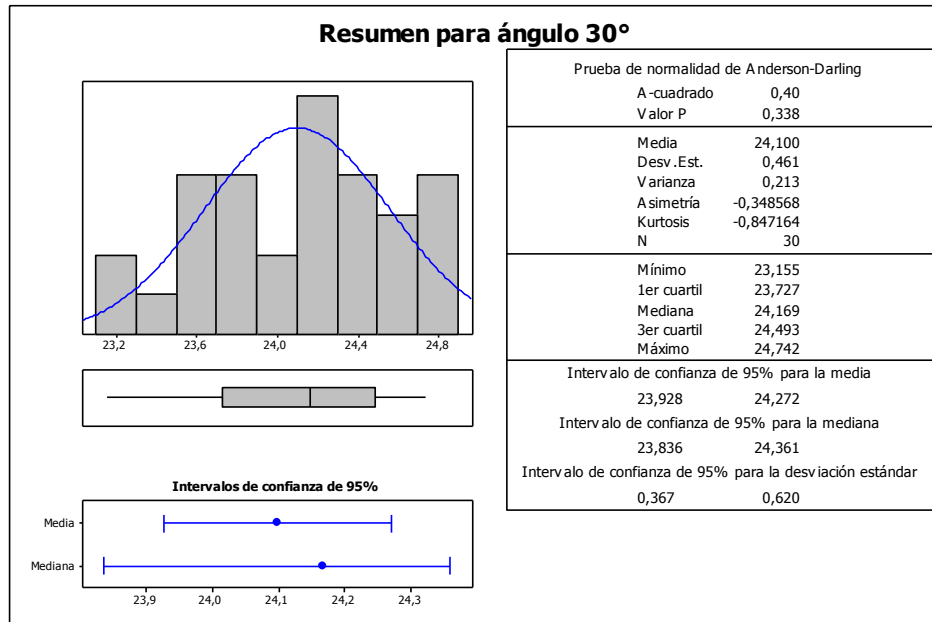
Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 151. Intervalos de tolerancia para las mediciones de ángulos de 15°

Cuadro 49. Medidas para 30 ángulos de 30°

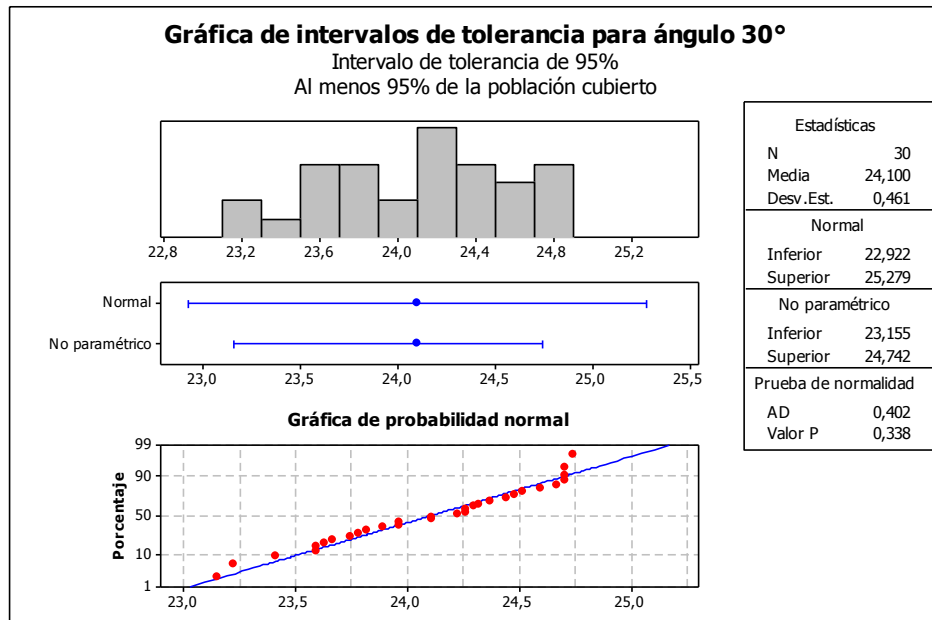
<b>Tamaño teórico del ángulo: 30°</b>					
<b>#</b>	<b>medida</b>	<b>#</b>	<b>medida</b>	<b>#</b>	<b>Medida</b>
<b>1</b>	24,114	<b>11</b>	24,114	<b>21</b>	24,483
<b>2</b>	24,742	<b>12</b>	24,321	<b>22</b>	23,966
<b>3</b>	24,225	<b>13</b>	24,262	<b>23</b>	23,966
<b>4</b>	24,520	<b>14</b>	23,597	<b>24</b>	23,782
<b>5</b>	24,446	<b>15</b>	23,671	<b>25</b>	23,229
<b>6</b>	24,705	<b>16</b>	23,413	<b>26</b>	23,155
<b>7</b>	24,594	<b>17</b>	23,634	<b>27</b>	24,705
<b>8</b>	24,372	<b>18</b>	23,597	<b>28</b>	24,668
<b>9</b>	24,299	<b>19</b>	23,819	<b>29</b>	23,745
<b>10</b>	23,893	<b>20</b>	24,705	<b>30</b>	24,262

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.



Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 152. Resumen estadístico para las mediciones de ángulos de 30°.



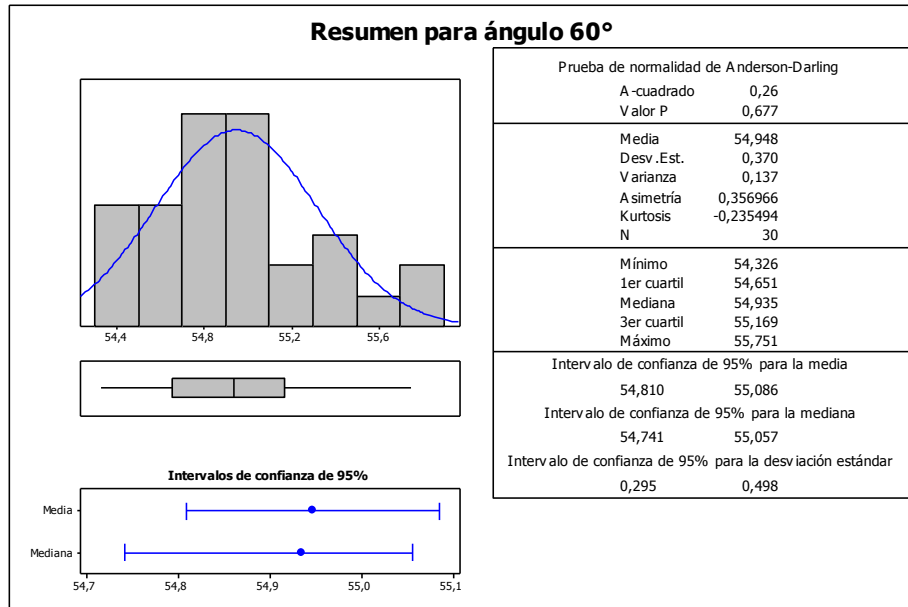
Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 153. Intervalos de tolerancia para las mediciones de ángulos de 30°.

Cuadro 50. Medidas para 30 ángulos de 60°

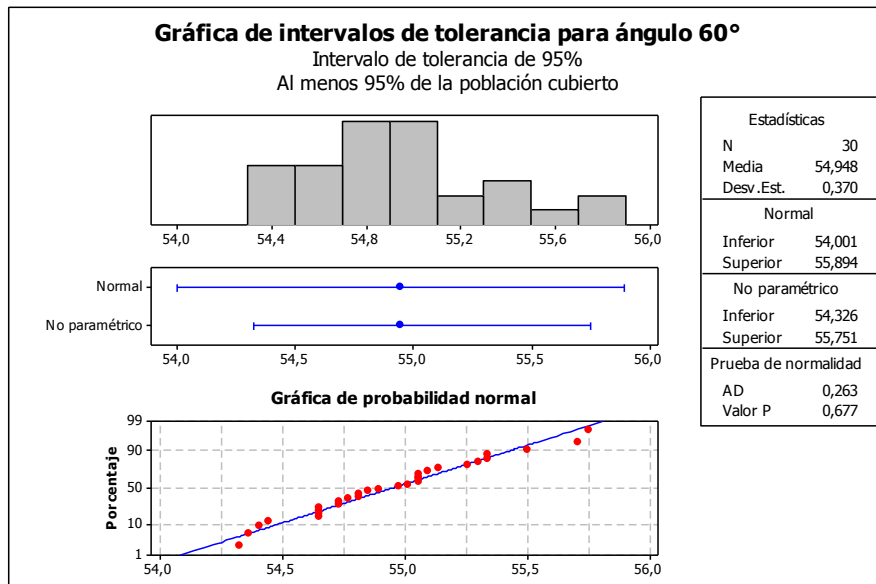
<b>Tamaño teórico del ángulo: 60°</b>					
<b>#</b>	<b>medida</b>	<b>#</b>	<b>medida</b>	<b>#</b>	<b>Medida</b>
<b>1</b>	54,326	<b>11</b>	54,407	<b>21</b>	55,057
<b>2</b>	54,448	<b>12</b>	55,057	<b>22</b>	54,813
<b>3</b>	55,506	<b>13</b>	54,895	<b>23</b>	55,057
<b>4</b>	54,651	<b>14</b>	55,710	<b>24</b>	55,751
<b>5</b>	54,651	<b>15</b>	54,651	<b>25</b>	55,261
<b>6</b>	54,813	<b>16</b>	54,773	<b>26</b>	55,017
<b>7</b>	54,651	<b>17</b>	54,732	<b>27</b>	54,854
<b>8</b>	55,302	<b>18</b>	54,366	<b>28</b>	55,139
<b>9</b>	55,343	<b>19</b>	54,976	<b>29</b>	55,057
<b>10</b>	54,732	<b>20</b>	55,343	<b>30</b>	55,098

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.



Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 154. Resumen estadístico para las mediciones de ángulos de 60°



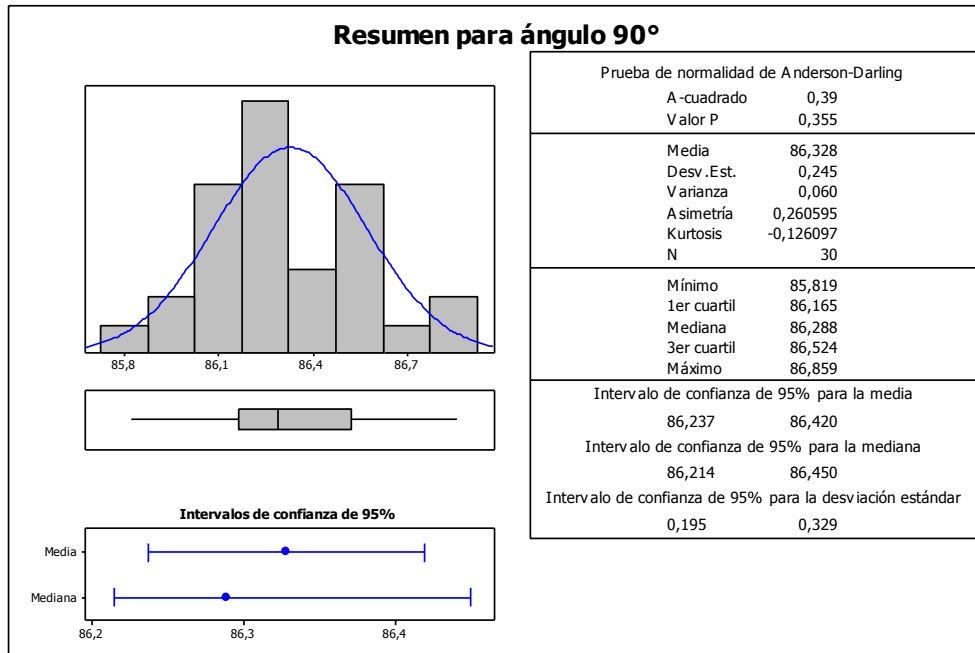
Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 155. Intervalos de tolerancia para las mediciones de ángulos de 60°.

Cuadro 51. Medidas para 30 ángulos de 90°

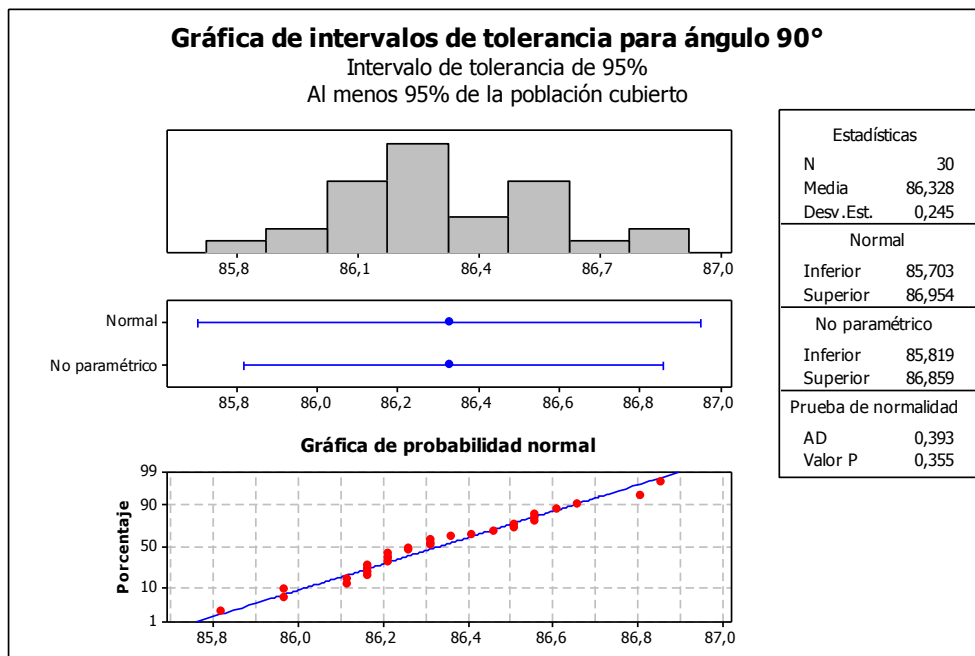
<b>Tamaño teórico del ángulo: 90°</b>					
<b>#</b>	<b>medida</b>	<b>#</b>	<b>Medida</b>	<b>#</b>	<b>Medida</b>
<b>1</b>	86,462	<b>11</b>	86,214	<b>21</b>	86,165
<b>2</b>	86,264	<b>12</b>	86,511	<b>22</b>	86,313
<b>3</b>	85,819	<b>13</b>	86,561	<b>23</b>	86,313
<b>4</b>	86,214	<b>14</b>	86,511	<b>24</b>	86,165
<b>5</b>	86,115	<b>15</b>	86,313	<b>25</b>	86,264
<b>6</b>	86,412	<b>16</b>	85,967	<b>26</b>	86,165
<b>7</b>	86,660	<b>17</b>	85,967	<b>27</b>	86,363
<b>8</b>	86,611	<b>18</b>	86,214	<b>28</b>	86,561
<b>9</b>	86,859	<b>19</b>	86,214	<b>29</b>	86,115
<b>10</b>	86,561	<b>20</b>	86,809	<b>30</b>	86,165

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.



Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 156. Resumen estadístico para las mediciones de ángulos de 90°



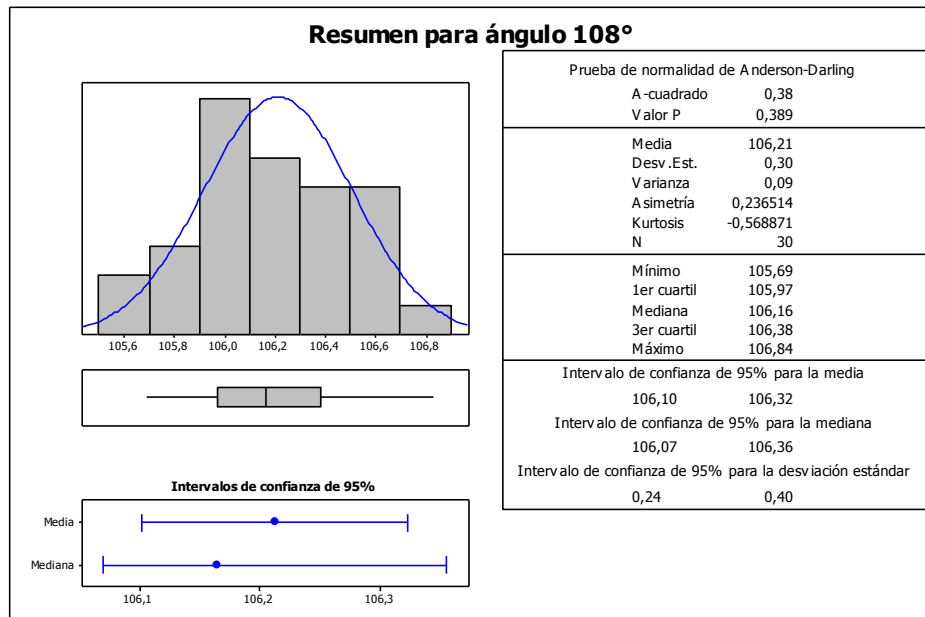
Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 157. Intervalos de tolerancia para las mediciones de ángulos de 90°

Cuadro 52. Medidas para 30 ángulos de 108°

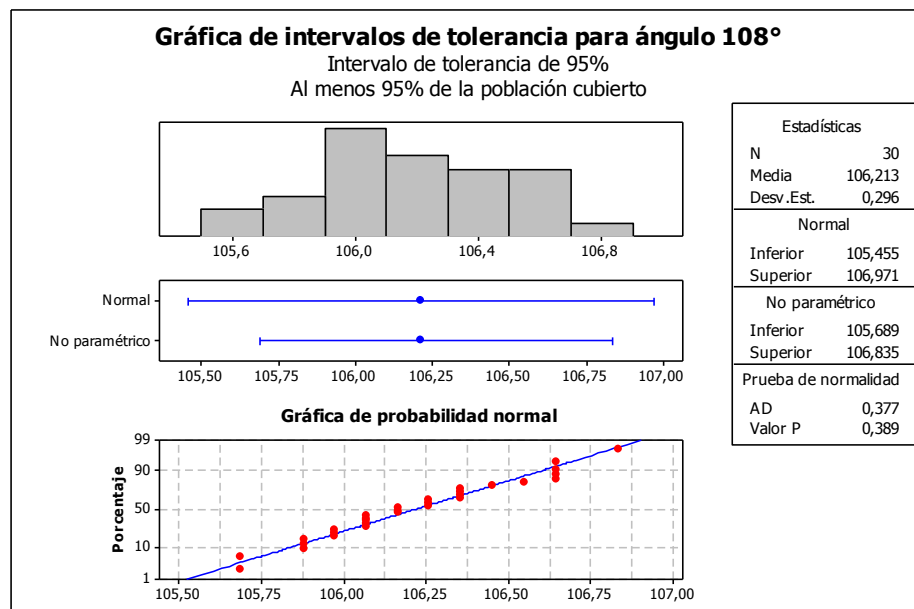
<b>Tamaño teórico del ángulo: 108°</b>					
<b>#</b>	<b>medida</b>	<b>#</b>	<b>Medida</b>	<b>#</b>	<b>Medida</b>
<b>1</b>	106,356	<b>11</b>	106,547	<b>21</b>	106,260
<b>2</b>	106,260	<b>12</b>	106,165	<b>22</b>	105,689
<b>3</b>	105,689	<b>13</b>	106,643	<b>23</b>	106,165
<b>4</b>	106,069	<b>14</b>	106,069	<b>24</b>	106,643
<b>5</b>	106,165	<b>15</b>	105,974	<b>25</b>	106,069
<b>6</b>	106,069	<b>16</b>	105,879	<b>26</b>	106,069
<b>7</b>	106,356	<b>17</b>	106,451	<b>27</b>	105,974
<b>8</b>	106,643	<b>18</b>	106,260	<b>28</b>	106,356
<b>9</b>	105,879	<b>19</b>	106,835	<b>29</b>	105,974
<b>10</b>	106,356	<b>20</b>	105,879	<b>30</b>	106,643

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.



Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 158. Resumen estadístico para las mediciones de ángulos de 108°



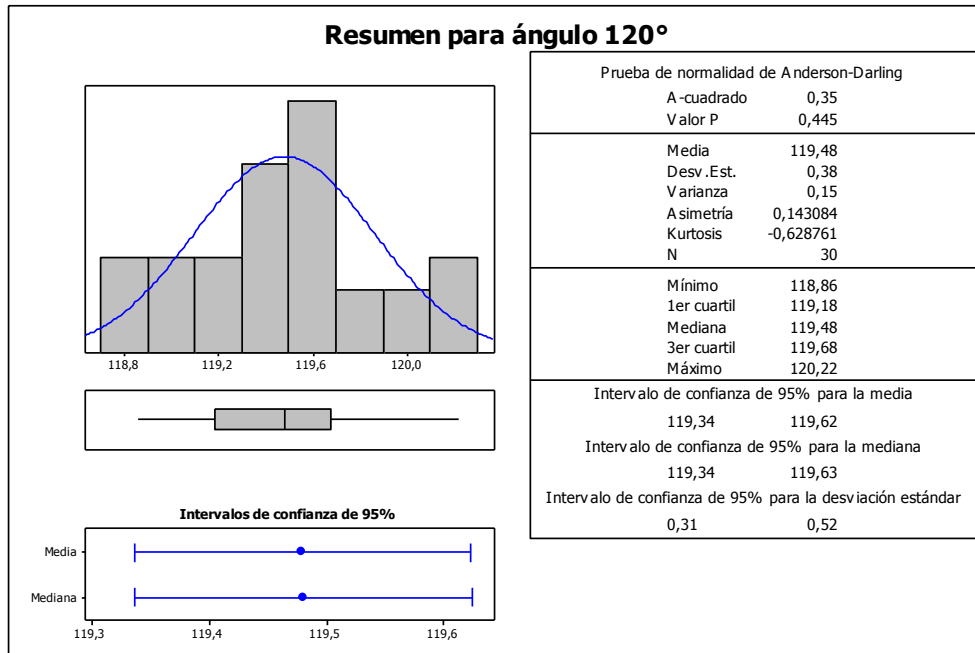
Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 159. Intervalos de tolerancia para las mediciones de ángulos de 108°

Cuadro 53. Medidas para 30 ángulos de 120°

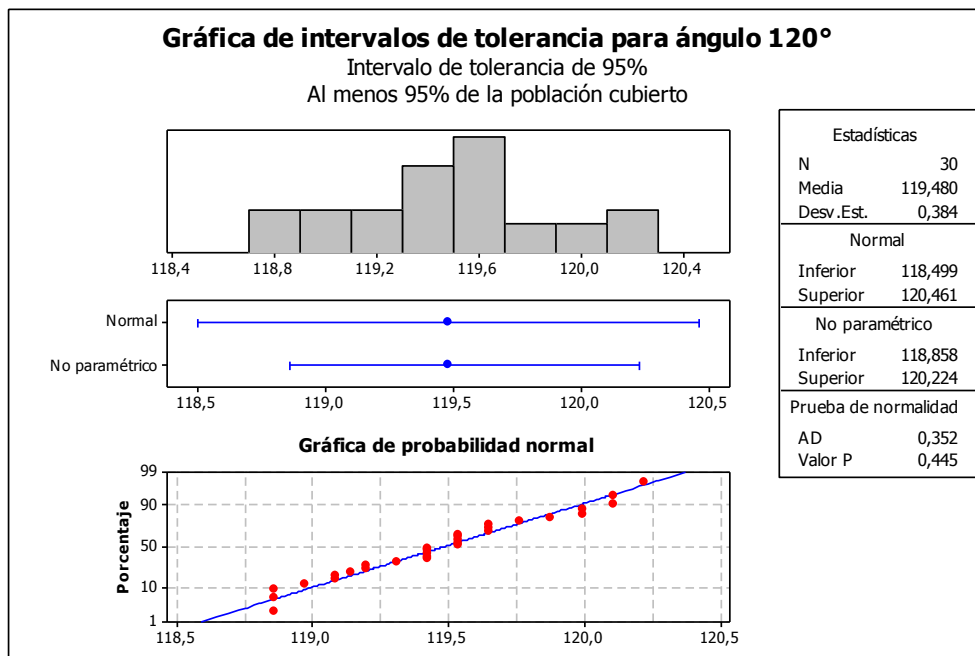
<b>Tamaño teórico del ángulo: 120°</b>					
<b>#</b>	<b>medida</b>	<b>#</b>	<b>Medida</b>	<b>#</b>	<b>Medida</b>
<b>1</b>	119,994	<b>11</b>	118,858	<b>21</b>	118,858
<b>2</b>	119,424	<b>12</b>	119,424	<b>22</b>	118,858
<b>3</b>	120,224	<b>13</b>	119,651	<b>23</b>	119,424
<b>4</b>	119,424	<b>14</b>	119,084	<b>24</b>	119,084
<b>5</b>	119,537	<b>15</b>	118,971	<b>25</b>	119,537
<b>6</b>	119,537	<b>16</b>	119,651	<b>26</b>	119,197
<b>7</b>	119,765	<b>17</b>	119,197	<b>27</b>	119,651
<b>8</b>	120,109	<b>18</b>	119,880	<b>28</b>	119,994
<b>9</b>	119,537	<b>19</b>	119,310	<b>29</b>	119,197
<b>10</b>	120,109	<b>20</b>	119,424	<b>30</b>	119,537

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.



Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 160. Resumen estadístico para las mediciones de ángulos de 120°



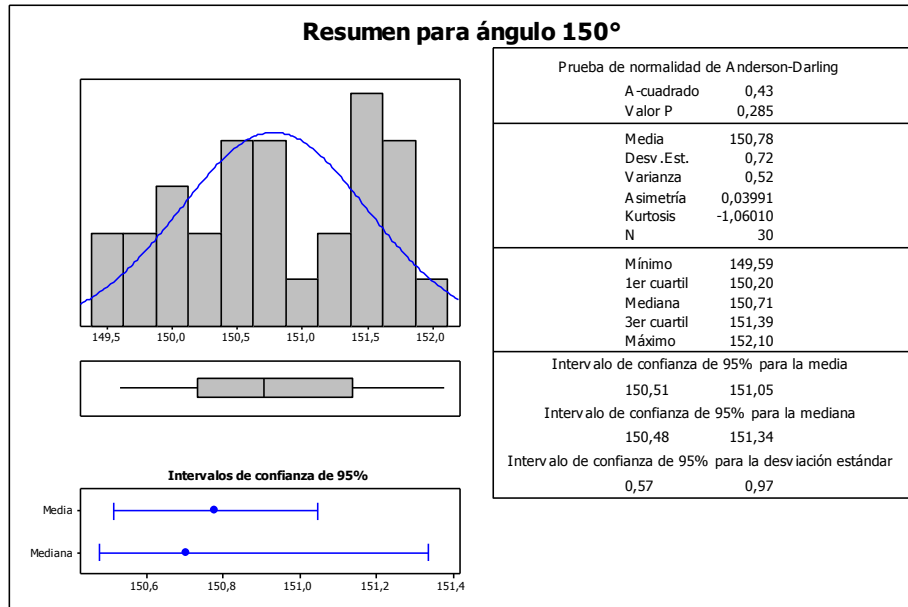
Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 161. Intervalos de tolerancia para las mediciones de ángulos de 120°

Cuadro 54. Medidas para 30 ángulos de 150°

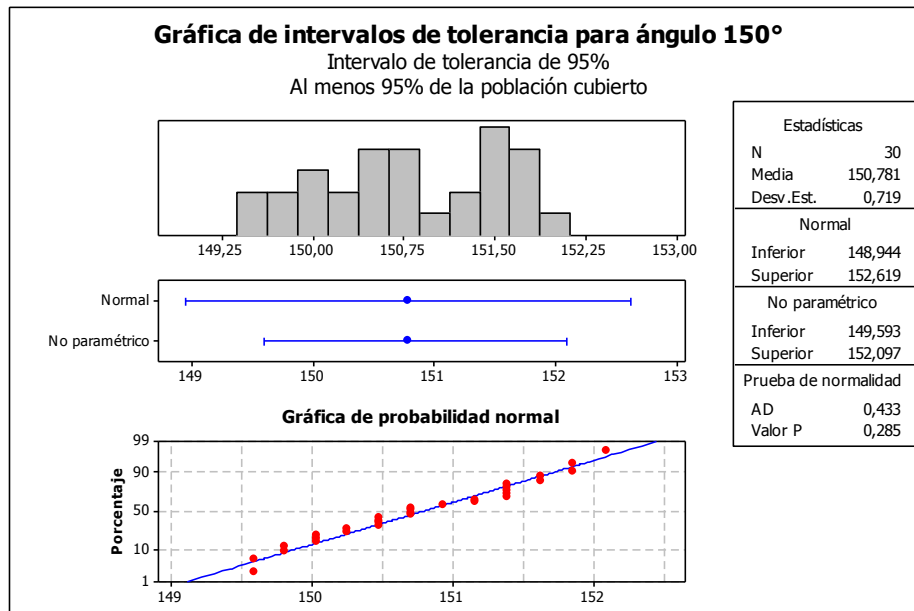
<b>Tamaño teórico del ángulo: 150°</b>					
<b>#</b>	<b>medida</b>	<b>#</b>	<b>medida</b>	<b>#</b>	<b>Medida</b>
<b>1</b>	150,479	<b>11</b>	150,933	<b>21</b>	150,705
<b>2</b>	150,479	<b>12</b>	149,812	<b>22</b>	150,705
<b>3</b>	149,593	<b>13</b>	152,097	<b>23</b>	151,393
<b>4</b>	151,626	<b>14</b>	151,393	<b>24</b>	150,255
<b>5</b>	151,393	<b>15</b>	150,033	<b>25</b>	151,393
<b>6</b>	149,812	<b>16</b>	150,033	<b>26</b>	151,626
<b>7</b>	149,593	<b>17</b>	151,162	<b>27</b>	151,393
<b>8</b>	150,033	<b>18</b>	150,705	<b>28</b>	150,479
<b>9</b>	151,162	<b>19</b>	151,860	<b>29</b>	151,860
<b>10</b>	150,705	<b>20</b>	150,255	<b>30</b>	150,479

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.



Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 162. Resumen estadístico para las mediciones de ángulos de 150°



Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

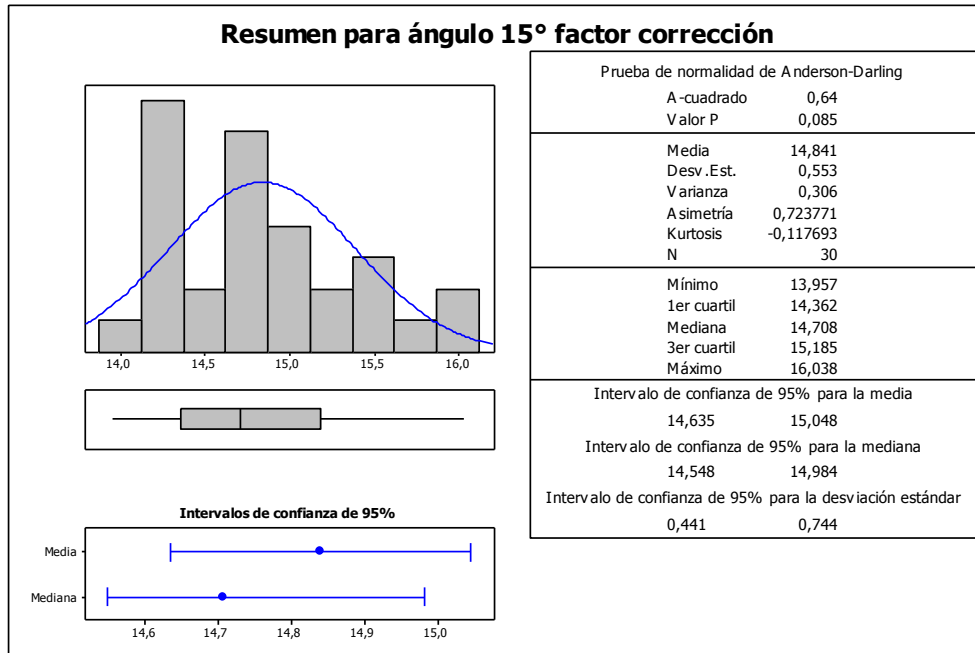
Figura 163. Intervalos de tolerancia para las mediciones de ángulos de 150°.

## Ángulos con factor de corrección

Cuadro 55. Medidas para 30 ángulos de 15° con factor de corrección

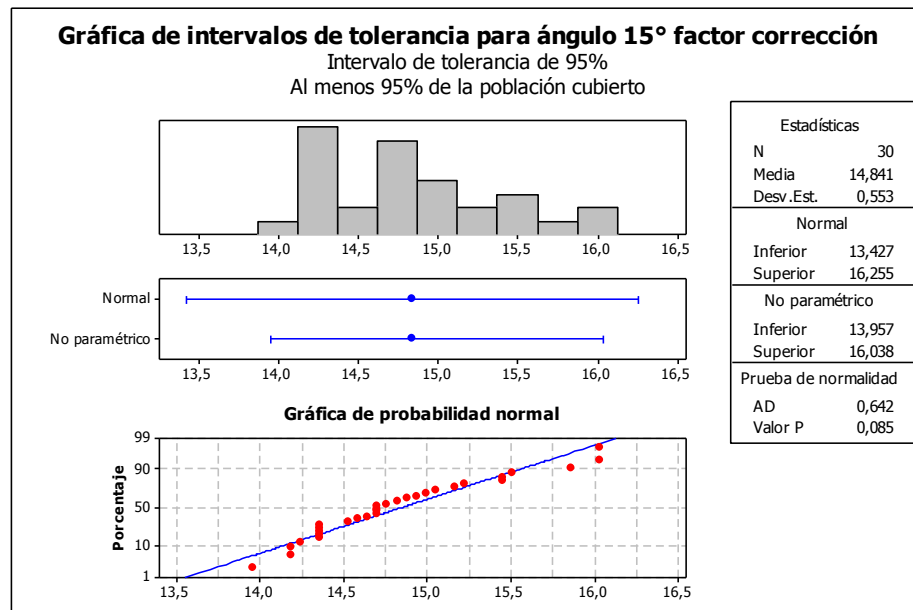
<b>Tamaño teórico del ángulo: 15°</b>					
<b>#</b>	<b>medida</b>	<b>#</b>	<b>medida</b>	<b>#</b>	<b>Medida</b>
<b>1</b>	15,055	<b>11</b>	14,362	<b>21</b>	15,170
<b>2</b>	13,957	<b>12</b>	14,188	<b>22</b>	14,766
<b>3</b>	14,881	<b>13</b>	14,824	<b>23</b>	14,188
<b>4</b>	15,517	<b>14</b>	15,459	<b>24</b>	14,362
<b>5</b>	14,246	<b>15</b>	15,864	<b>25</b>	14,650
<b>6</b>	14,708	<b>16</b>	16,038	<b>26</b>	14,362
<b>7</b>	14,362	<b>17</b>	16,038	<b>27</b>	15,228
<b>8</b>	14,362	<b>18</b>	14,593	<b>28</b>	14,997
<b>9</b>	14,708	<b>19</b>	14,708	<b>29</b>	15,459
<b>10</b>	14,535	<b>20</b>	14,939	<b>30</b>	14,708

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.



Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 164. Resumen estadístico para las mediciones de ángulos de 15° con factor de corrección



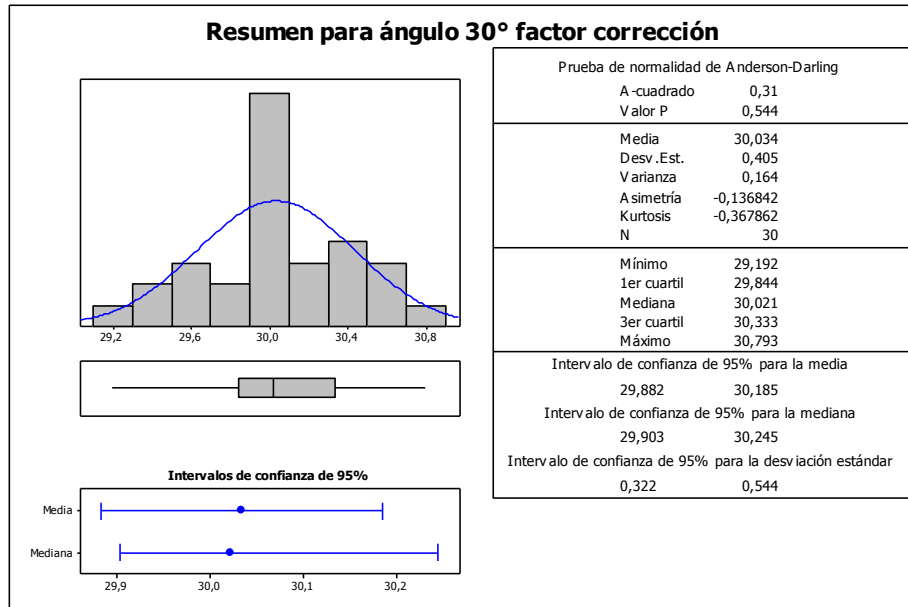
Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 165. Intervalos de tolerancia para las mediciones de ángulos de 15° con factor de corrección

Cuadro 56. Medidas para 30 ángulos de 30° con factor de corrección

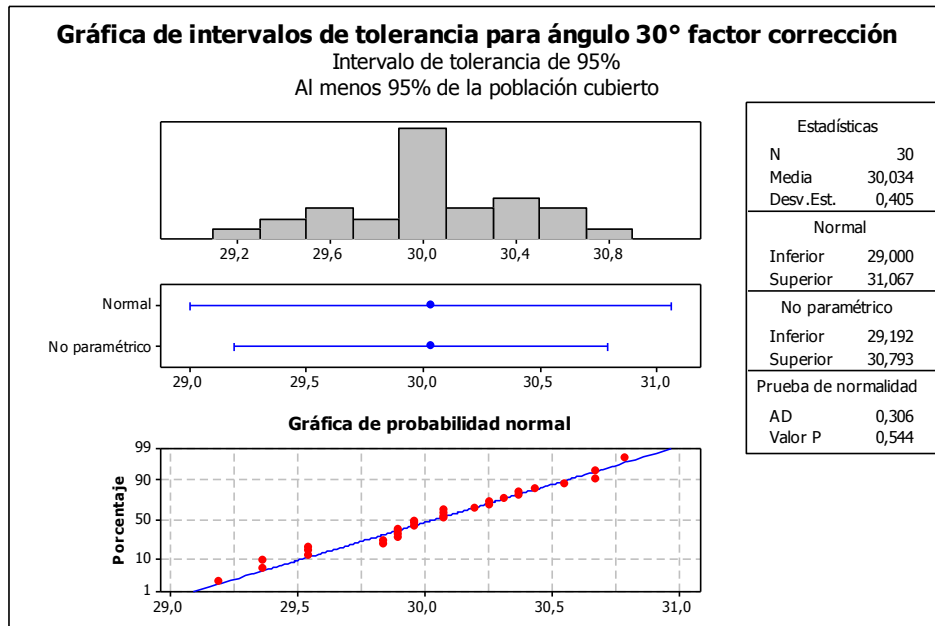
<b>Tamaño teórico del ángulo: 30°</b>					
<b>#</b>	<b>medida</b>	<b>#</b>	<b>medida</b>	<b>#</b>	<b>Medida</b>
<b>1</b>	30,556	<b>11</b>	29,903	<b>21</b>	30,437
<b>2</b>	29,962	<b>12</b>	30,378	<b>22</b>	29,369
<b>3</b>	29,547	<b>13</b>	30,674	<b>23</b>	29,192
<b>4</b>	29,547	<b>14</b>	29,962	<b>24</b>	30,318
<b>5</b>	30,793	<b>15</b>	30,259	<b>25</b>	30,081
<b>6</b>	29,369	<b>16</b>	30,259	<b>26</b>	30,081
<b>7</b>	29,962	<b>17</b>	29,844	<b>27</b>	30,081
<b>8</b>	30,674	<b>18</b>	30,081	<b>28</b>	29,844
<b>9</b>	30,378	<b>19</b>	29,547	<b>29</b>	29,903
<b>10</b>	29,903	<b>20</b>	30,199	<b>30</b>	29,903

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.



Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 166. Resumen estadístico para las mediciones de ángulos de 30° con factor de corrección



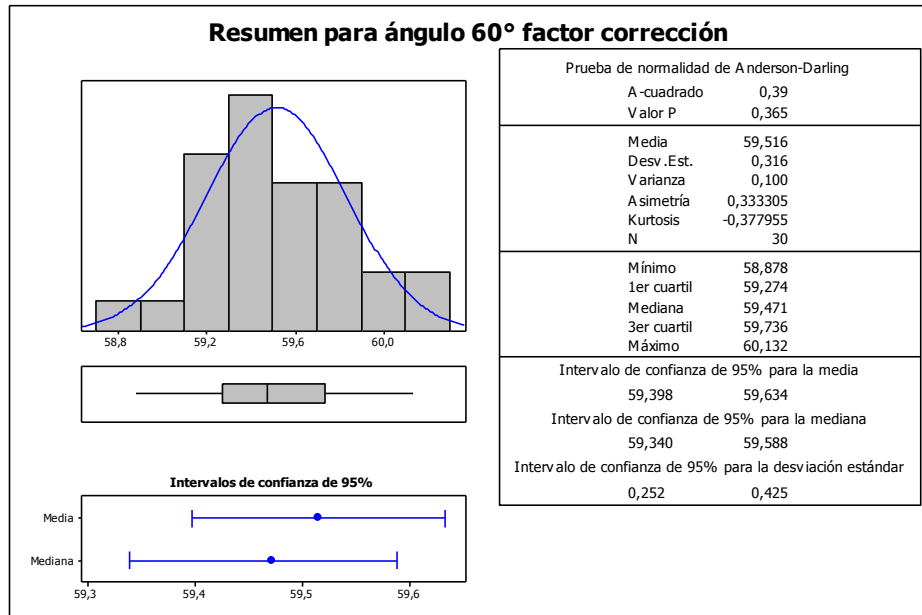
Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 167. Intervalos de tolerancia para las mediciones de ángulos de 30° con factor de corrección.

Cuadro 57. Medidas para 30 ángulos de 60° con factor de corrección

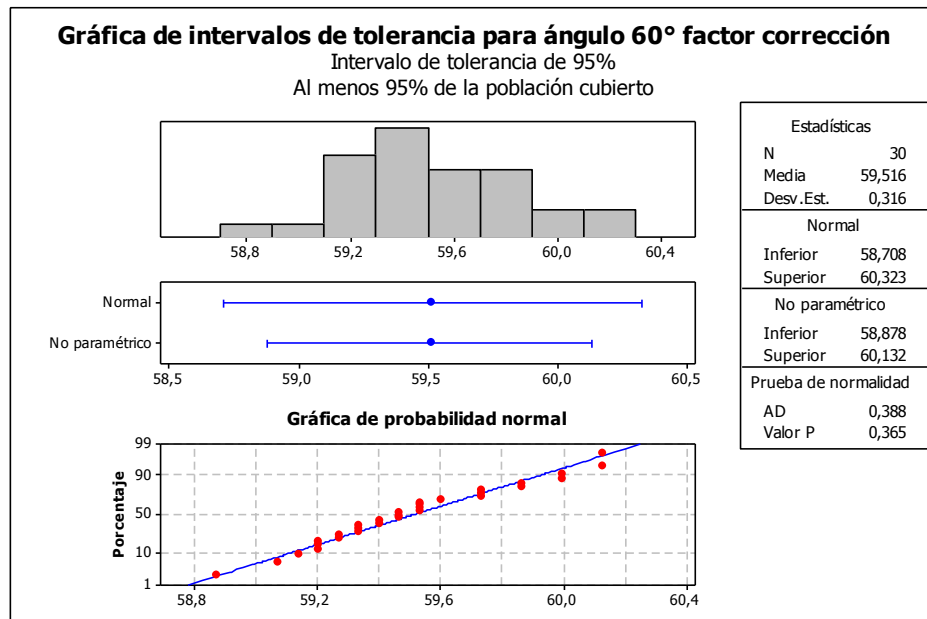
<b>Tamaño teórico del ángulo: 60°</b>					
<b>#</b>	<b>Medida</b>	<b>#</b>	<b>medida</b>	<b>#</b>	<b>Medida</b>
<b>1</b>	59,076	<b>11</b>	59,340	<b>21</b>	59,736
<b>2</b>	60,132	<b>12</b>	59,274	<b>22</b>	59,537
<b>3</b>	59,340	<b>13</b>	59,274	<b>23</b>	60,132
<b>4</b>	58,878	<b>14</b>	60,000	<b>24</b>	59,736
<b>5</b>	59,405	<b>15</b>	59,603	<b>25</b>	60,000
<b>6</b>	59,142	<b>16</b>	59,537	<b>26</b>	59,868
<b>7</b>	59,405	<b>17</b>	59,537	<b>27</b>	59,868
<b>8</b>	59,471	<b>18</b>	59,537	<b>28</b>	59,471
<b>9</b>	59,208	<b>19</b>	59,340	<b>29</b>	59,471
<b>10</b>	59,208	<b>20</b>	59,736	<b>30</b>	59,208

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.



Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 168. Resumen estadístico para las mediciones de ángulos de 60° con factor de corrección



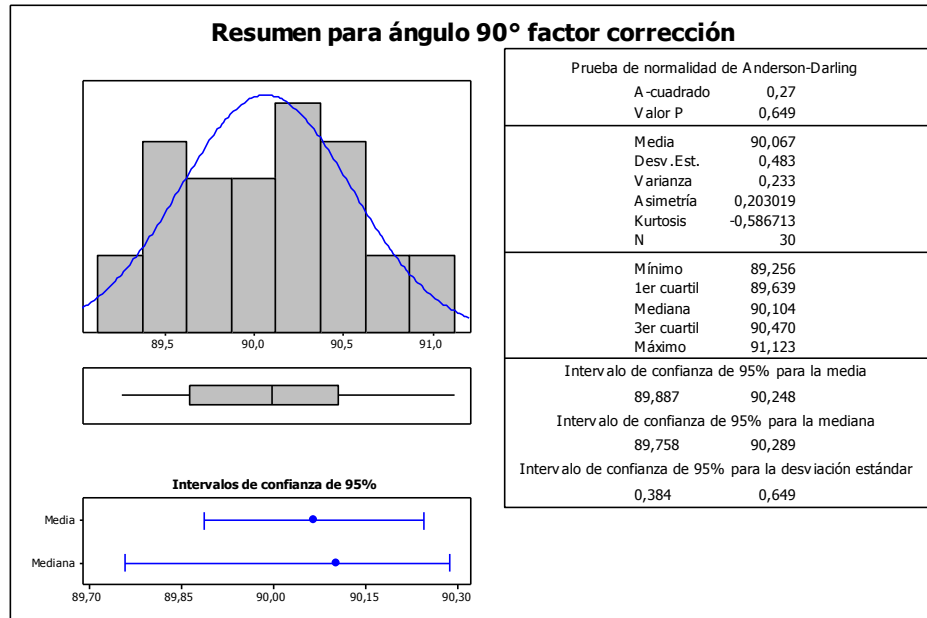
Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 169. Intervalos de tolerancia para las mediciones de ángulos de 60° con factor de corrección.

Cuadro 58. Medidas para 30 ángulos de 90° con factor de corrección

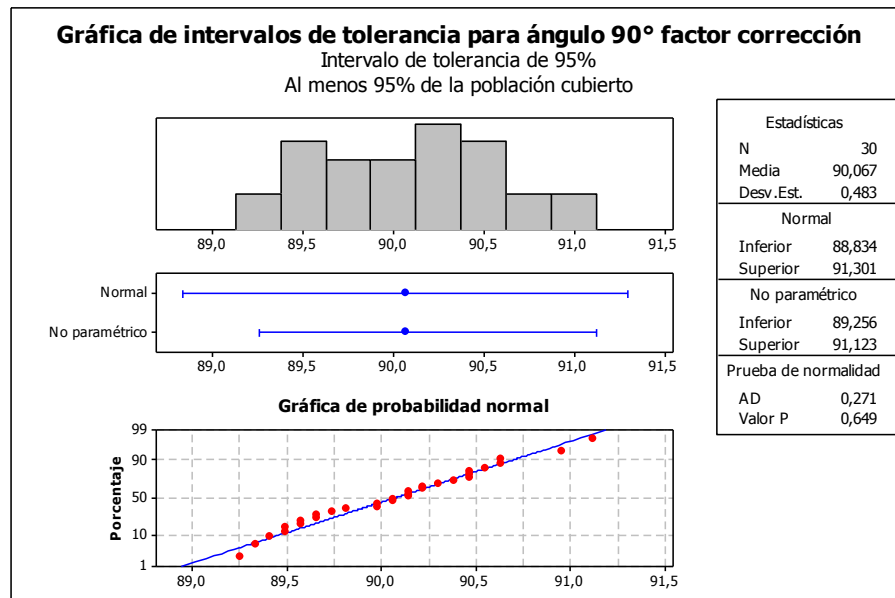
<b>Tamaño teórico del ángulo: 90°</b>					
<b>#</b>	<b>medida</b>	<b>#</b>	<b>Medida</b>	<b>#</b>	<b>Medida</b>
<b>1</b>	90,470	<b>11</b>	89,983	<b>21</b>	89,659
<b>2</b>	90,145	<b>12</b>	89,983	<b>22</b>	90,633
<b>3</b>	90,470	<b>13</b>	89,417	<b>23</b>	90,388
<b>4</b>	89,498	<b>14</b>	89,821	<b>24</b>	90,633
<b>5</b>	89,498	<b>15</b>	90,064	<b>25</b>	91,123
<b>6</b>	89,578	<b>16</b>	89,740	<b>26</b>	90,959
<b>7</b>	89,578	<b>17</b>	90,226	<b>27</b>	90,551
<b>8</b>	89,256	<b>18</b>	89,336	<b>28</b>	90,145
<b>9</b>	89,659	<b>19</b>	90,226	<b>29</b>	90,064
<b>10</b>	90,307	<b>20</b>	90,145	<b>30</b>	90,470

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.



Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 170. Resumen estadístico para las mediciones de ángulos de 90° con factor de corrección



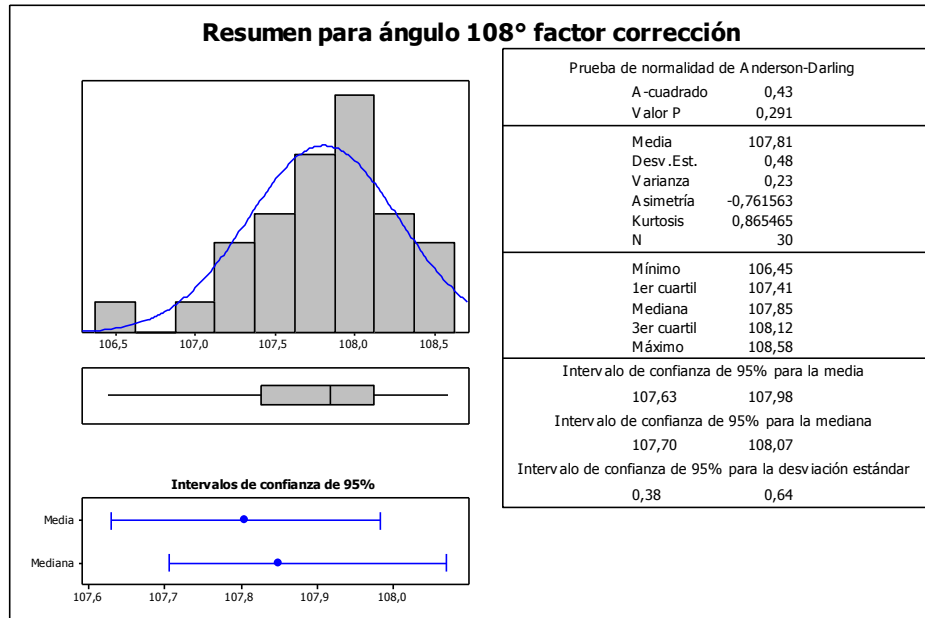
Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 171. Intervalos de tolerancia para las mediciones de ángulos de 90° con factor de corrección

Cuadro 59. Medidas para 30 ángulos de 108° con factor de corrección

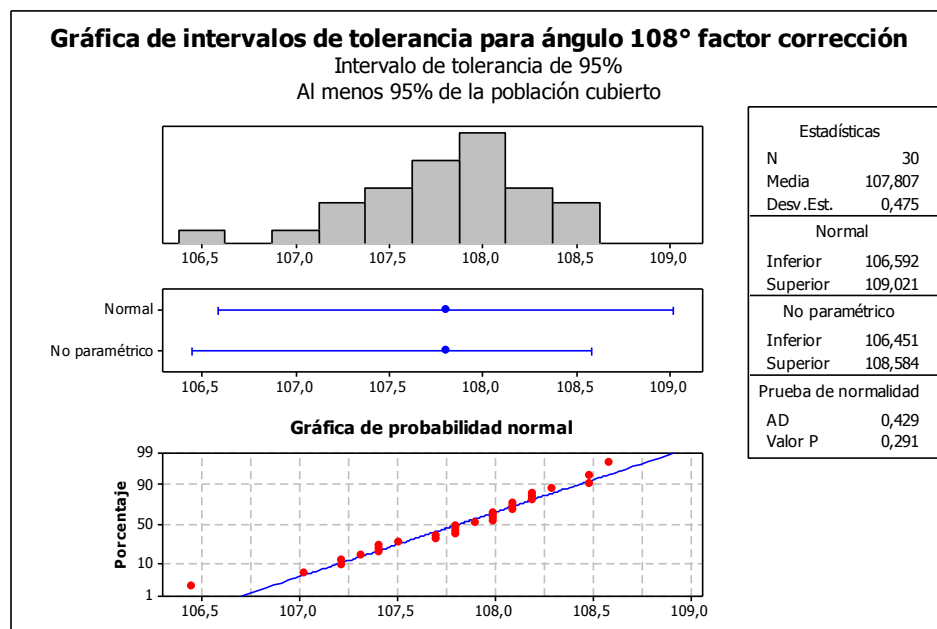
<b>Tamaño teórico del ángulo: 108°</b>					
<b>#</b>	<b>medida</b>	<b>#</b>	<b>Medida</b>	<b>#</b>	<b>Medida</b>
<b>1</b>	107,414	<b>11</b>	107,997	<b>21</b>	107,028
<b>2</b>	107,317	<b>12</b>	107,997	<b>22</b>	107,511
<b>3</b>	107,997	<b>13</b>	107,802	<b>23</b>	107,802
<b>4</b>	108,094	<b>14</b>	107,414	<b>24</b>	107,221
<b>5</b>	108,192	<b>15</b>	106,451	<b>25</b>	108,192
<b>6</b>	107,705	<b>16</b>	108,094	<b>26</b>	108,192
<b>7</b>	107,414	<b>17</b>	108,485	<b>27</b>	107,802
<b>8</b>	107,899	<b>18</b>	108,485	<b>28</b>	107,802
<b>9</b>	108,290	<b>19</b>	108,584	<b>29</b>	107,221
<b>10</b>	107,705	<b>20</b>	108,094	<b>30</b>	107,997

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.



Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 172. Resumen estadístico para las mediciones de ángulos de 108° con factor de corrección.



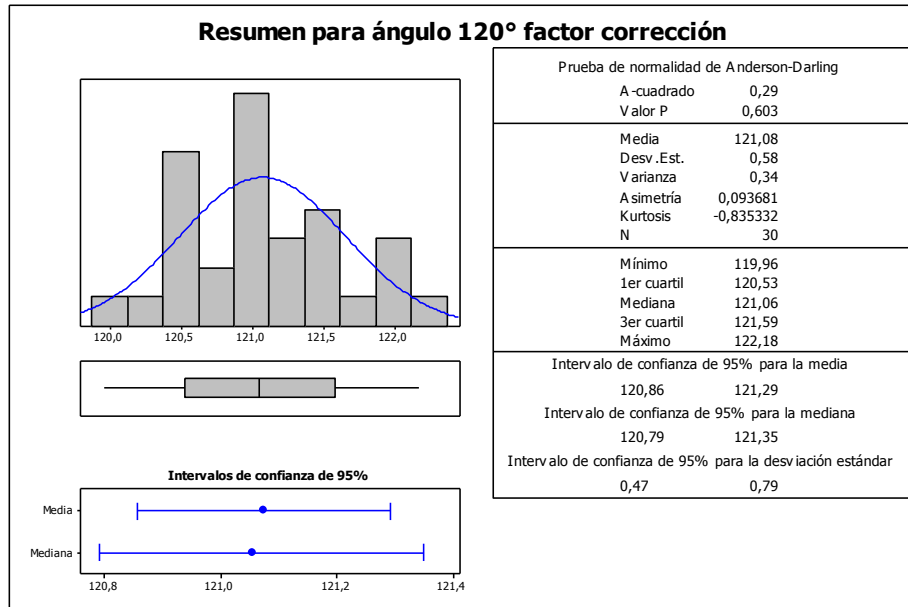
Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 173. Intervalos de tolerancia para las mediciones de ángulos de 108° con factor de corrección.

Cuadro 60. Medidas para 30 ángulos de 120° con factor de corrección

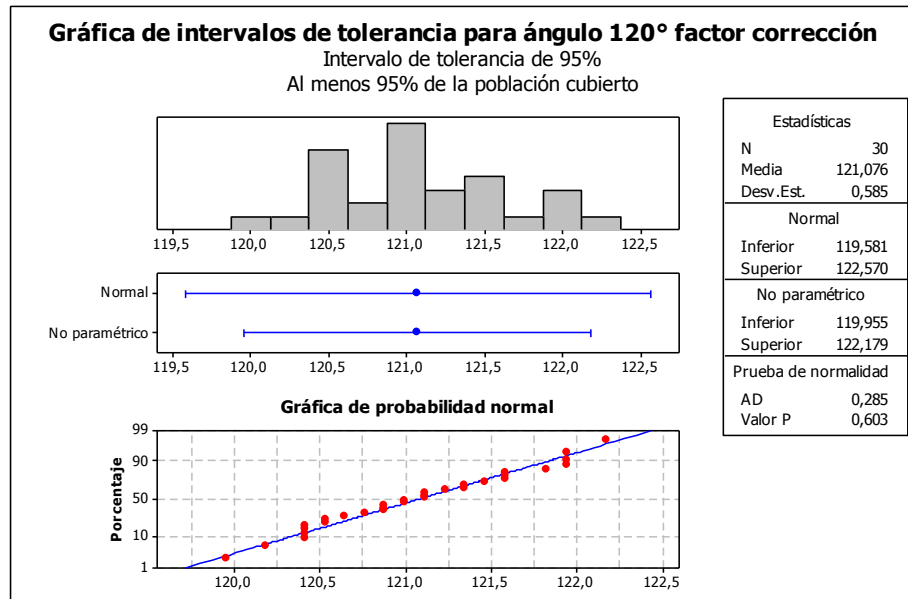
<b>Tamaño teórico del ángulo: 120°</b>					
<b>#</b>	<b>medida</b>	<b>#</b>	<b>medida</b>	<b>#</b>	<b>Medida</b>
<b>1</b>	120,882	<b>11</b>	121,941	<b>21</b>	121,586
<b>2</b>	121,941	<b>12</b>	121,941	<b>22</b>	120,533
<b>3</b>	121,116	<b>13</b>	121,351	<b>23</b>	121,469
<b>4</b>	121,586	<b>14</b>	120,882	<b>24</b>	120,649
<b>5</b>	121,823	<b>15</b>	121,586	<b>25</b>	120,417
<b>6</b>	121,351	<b>16</b>	121,233	<b>26</b>	120,186
<b>7</b>	120,999	<b>17</b>	120,999	<b>27</b>	120,417
<b>8</b>	121,116	<b>18</b>	122,179	<b>28</b>	120,417
<b>9</b>	120,533	<b>19</b>	120,766	<b>29</b>	120,882
<b>10</b>	121,116	<b>20</b>	119,955	<b>30</b>	120,417

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.



Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 174. Resumen estadístico para las mediciones de ángulos de 120° con factor de corrección.



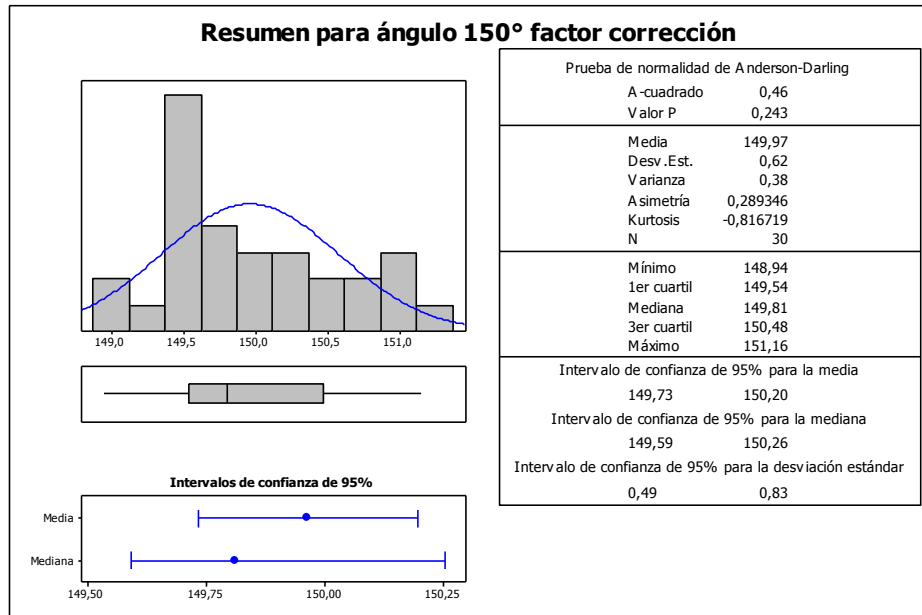
Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 175. Intervalos de tolerancia para las mediciones de ángulos de 120° con factor de corrección

Cuadro 61. Medidas para 30 ángulos de 150° con factor de corrección

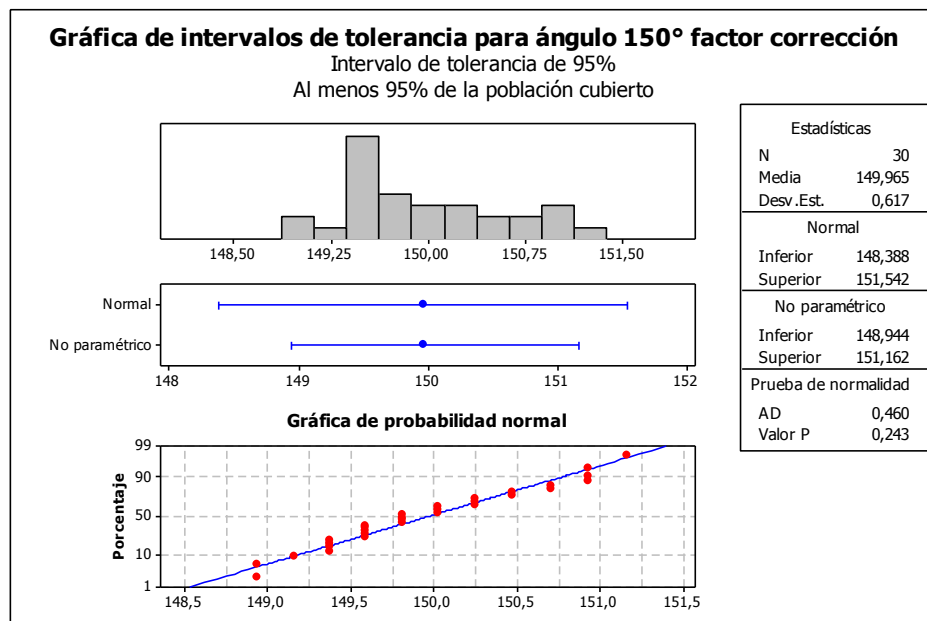
<b>Tamaño teórico del ángulo: 150°</b>					
<b>#</b>	<b>medida</b>	<b>#</b>	<b>medida</b>	<b>#</b>	<b>Medida</b>
<b>1</b>	150,255	<b>11</b>	150,933	<b>21</b>	150,033
<b>2</b>	149,375	<b>12</b>	150,033	<b>22</b>	149,159
<b>3</b>	149,375	<b>13</b>	150,933	<b>23</b>	149,812
<b>4</b>	149,593	<b>14</b>	150,255	<b>24</b>	149,812
<b>5</b>	149,593	<b>15</b>	150,255	<b>25</b>	149,593
<b>6</b>	149,593	<b>16</b>	149,593	<b>26</b>	150,479
<b>7</b>	150,479	<b>17</b>	148,944	<b>27</b>	148,944
<b>8</b>	150,033	<b>18</b>	150,933	<b>28</b>	150,705
<b>9</b>	149,375	<b>19</b>	150,705	<b>29</b>	149,812
<b>10</b>	149,812	<b>20</b>	151,162	<b>30</b>	149,375

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.



Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 176. Resumen estadístico para las mediciones de ángulos de 150° con factor de corrección



Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 177. Intervalos de tolerancia para las mediciones de ángulos de 150° con factor de corrección.

## Circunferencia con radio sin factor de corrección

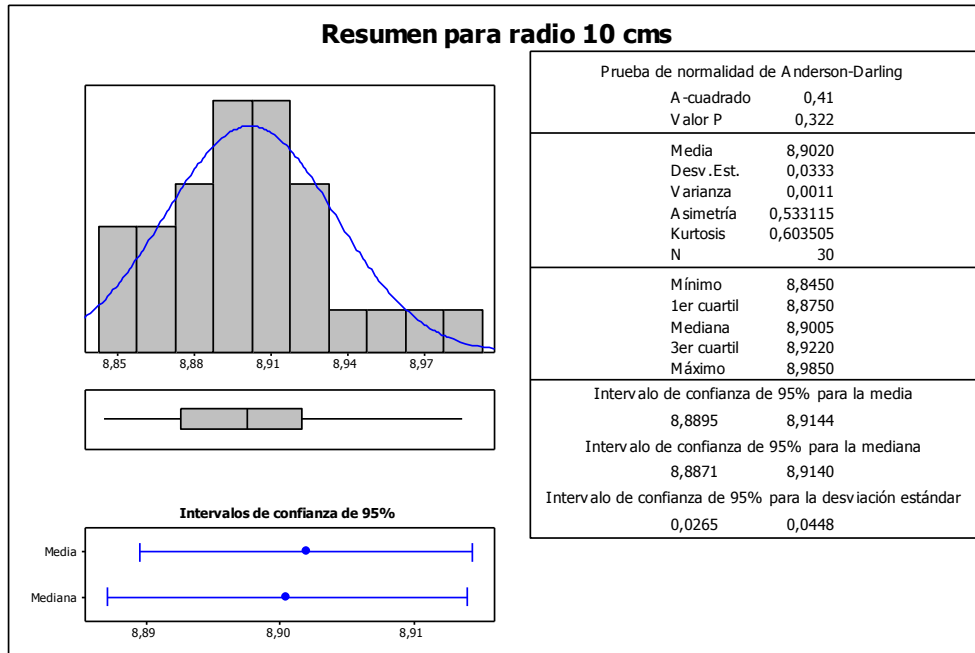
Cuadro 62. Medidas para 30 radios de 10 centímetros

<b>Tamaño teórico del radio: 10 cm</b>					
<b>#</b>	<b>medida<sup>63</sup></b>	<b>#</b>	<b>medida</b>	<b>#</b>	<b>Medida</b>
<b>1</b>	8,901	<b>11</b>	8,914	<b>21</b>	8,872
<b>2</b>	8,905	<b>12</b>	8,916	<b>22</b>	8,934
<b>3</b>	8,905	<b>13</b>	8,885	<b>23</b>	8,870
<b>4</b>	8,900	<b>14</b>	8,922	<b>24</b>	8,865
<b>5</b>	8,900	<b>15</b>	8,922	<b>25</b>	8,949
<b>6</b>	8,900	<b>16</b>	8,922	<b>26</b>	8,855
<b>7</b>	8,900	<b>17</b>	8,925	<b>27</b>	8,847
<b>8</b>	8,910	<b>18</b>	8,876	<b>28</b>	8,845
<b>9</b>	8,894	<b>19</b>	8,875	<b>29</b>	8,985
<b>10</b>	8,914	<b>20</b>	8,875	<b>30</b>	8,976

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.

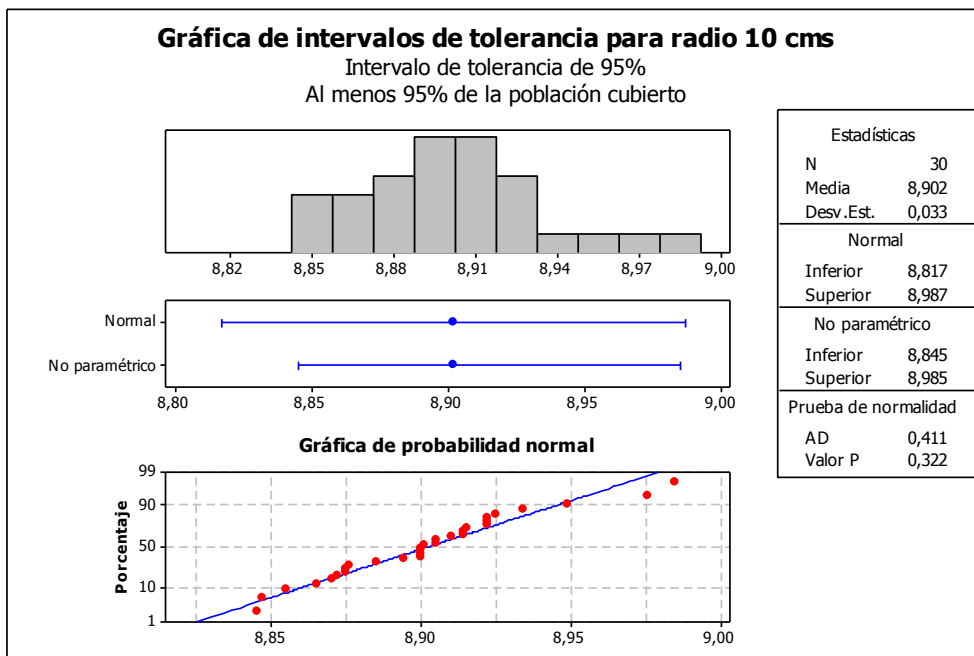
---

<sup>63</sup> La medida del radio se hizo midiendo el diámetro de la circunferencia para luego obtener el radio.



Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 178. Resumen estadístico para las mediciones de radios de 10 cm en la circunferencia



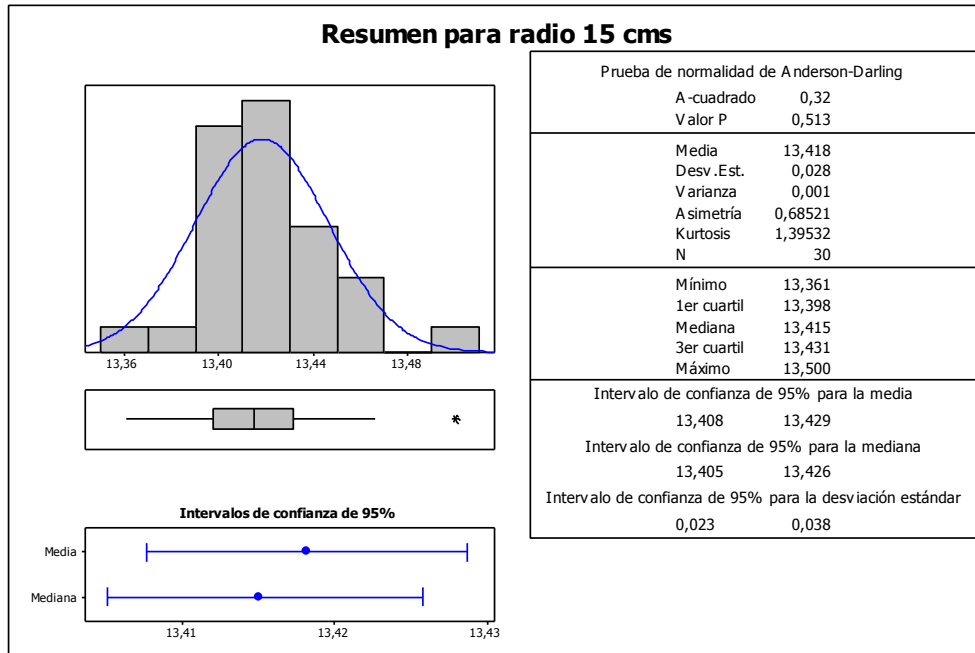
Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 179. Intervalos de tolerancia para las mediciones de radios de 10 cm en la circunferencia.

Cuadro 63. Medidas para 30 radios de 15 centímetros

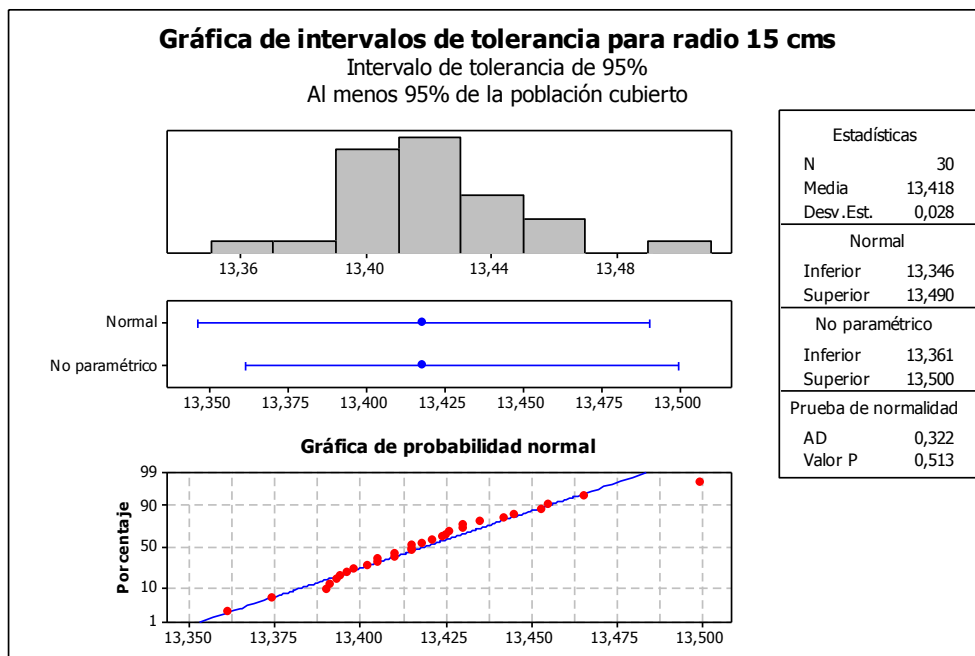
<b>Tamaño teórico del radio: 15 cm</b>					
<b>#</b>	<b>medida</b>	<b>#</b>	<b>Medida</b>	<b>#</b>	<b>Medida</b>
<b>1</b>	13,405	<b>11</b>	13,410	<b>21</b>	13,455
<b>2</b>	13,405	<b>12</b>	13,424	<b>22</b>	13,421
<b>3</b>	13,425	<b>13</b>	13,430	<b>23</b>	13,361
<b>4</b>	13,394	<b>14</b>	13,430	<b>24</b>	13,466
<b>5</b>	13,415	<b>15</b>	13,410	<b>25</b>	13,500
<b>6</b>	13,398	<b>16</b>	13,391	<b>26</b>	13,442
<b>7</b>	13,435	<b>17</b>	13,393	<b>27</b>	13,374
<b>8</b>	13,402	<b>18</b>	13,426	<b>28</b>	13,418
<b>9</b>	13,445	<b>19</b>	13,415	<b>29</b>	13,390
<b>10</b>	13,396	<b>20</b>	13,415	<b>30</b>	13,453

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.



Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 180. Resumen estadístico para las mediciones de radios de 15 cm en la circunferencia



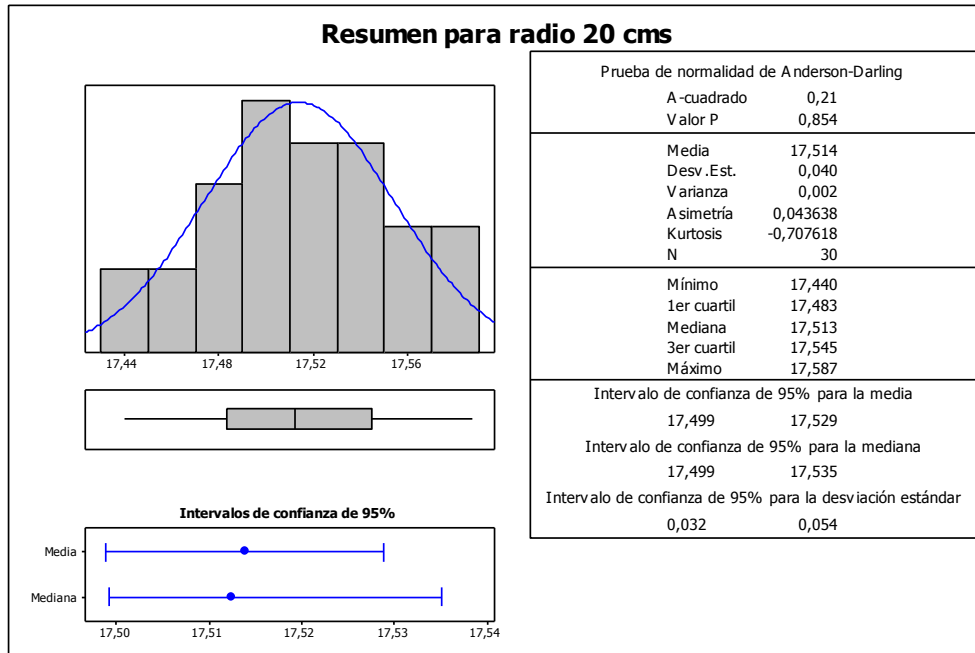
Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 181. Intervalos de tolerancia para las mediciones de radios de 15 cm en la circunferencia.

Cuadro 64. Medidas para 30 radios de 20 centímetros

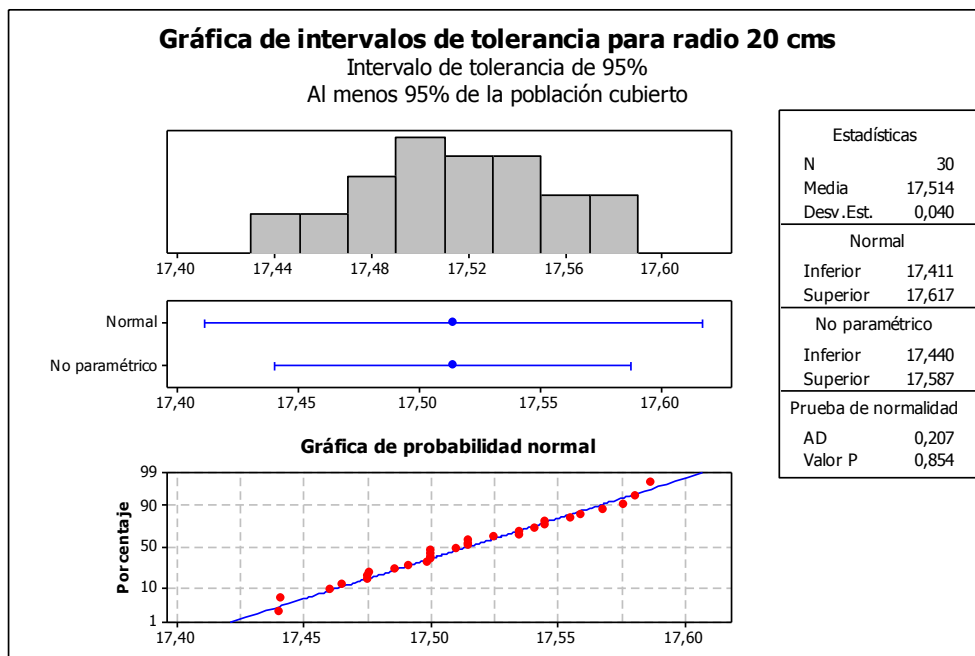
<b>Tamaño teórico del radio: 20 cm</b>					
<b>#</b>	<b>medida</b>	<b>#</b>	<b>Medida</b>	<b>#</b>	<b>Medida</b>
<b>1</b>	17,559	<b>11</b>	17,568	<b>21</b>	17,486
<b>2</b>	17,545	<b>12</b>	17,541	<b>22</b>	17,476
<b>3</b>	17,545	<b>13</b>	17,587	<b>23</b>	17,475
<b>4</b>	17,535	<b>14</b>	17,581	<b>24</b>	17,475
<b>5</b>	17,555	<b>15</b>	17,576	<b>25</b>	17,515
<b>6</b>	17,515	<b>16</b>	17,491	<b>26</b>	17,500
<b>7</b>	17,535	<b>17</b>	17,460	<b>27</b>	17,510
<b>8</b>	17,441	<b>18</b>	17,440	<b>28</b>	17,500
<b>9</b>	17,515	<b>19</b>	17,500	<b>29</b>	17,525
<b>10</b>	17,500	<b>20</b>	17,465	<b>30</b>	17,499

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.



Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 182. Resumen estadístico para las mediciones de radios de 20 cm en la circunferencia



Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

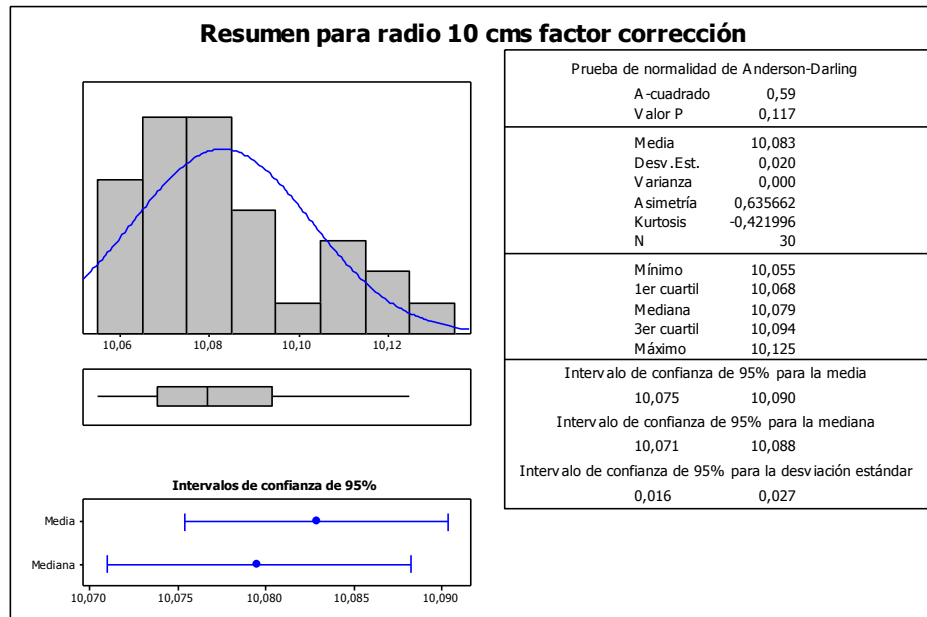
Figura 183. Intervalos de tolerancia para las mediciones de radios de 20 cm en la circunferencia.

## **Circunferencia con radio con factor de corrección**

Cuadro 65. Medidas para 30 radios de 10 centímetros con factor de corrección

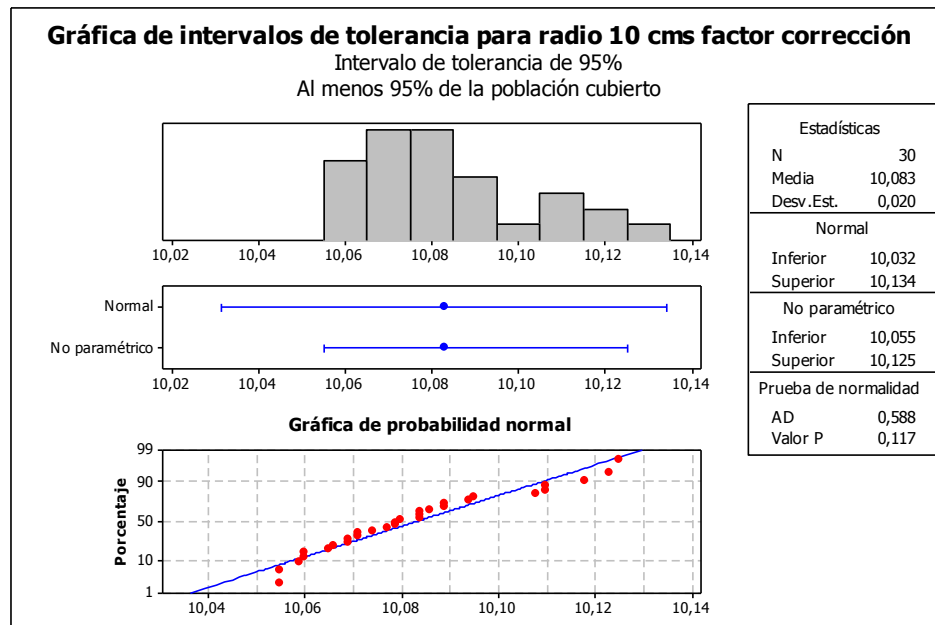
<b>Tamaño teórico del radio: 10 cm</b>					
<b>#</b>	<b>Medida</b>	<b>#</b>	<b>medida</b>	<b>#</b>	<b>medida</b>
<b>1</b>	10,055	<b>11</b>	10,094	<b>21</b>	10,089
<b>2</b>	10,060	<b>12</b>	10,110	<b>22</b>	10,086
<b>3</b>	10,071	<b>13</b>	10,095	<b>23</b>	10,084
<b>4</b>	10,080	<b>14</b>	10,123	<b>24</b>	10,060
<b>5</b>	10,125	<b>15</b>	10,077	<b>25</b>	10,059
<b>6</b>	10,110	<b>16</b>	10,089	<b>26</b>	10,069
<b>7</b>	10,084	<b>17</b>	10,071	<b>27</b>	10,065
<b>8</b>	10,118	<b>18</b>	10,079	<b>28</b>	10,066
<b>9</b>	10,108	<b>19</b>	10,055	<b>29</b>	10,074
<b>10</b>	10,084	<b>20</b>	10,079	<b>30</b>	10,069

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.



Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 184. Resumen estadístico para las mediciones de radios de 10 cm en la circunferencia con factor de corrección



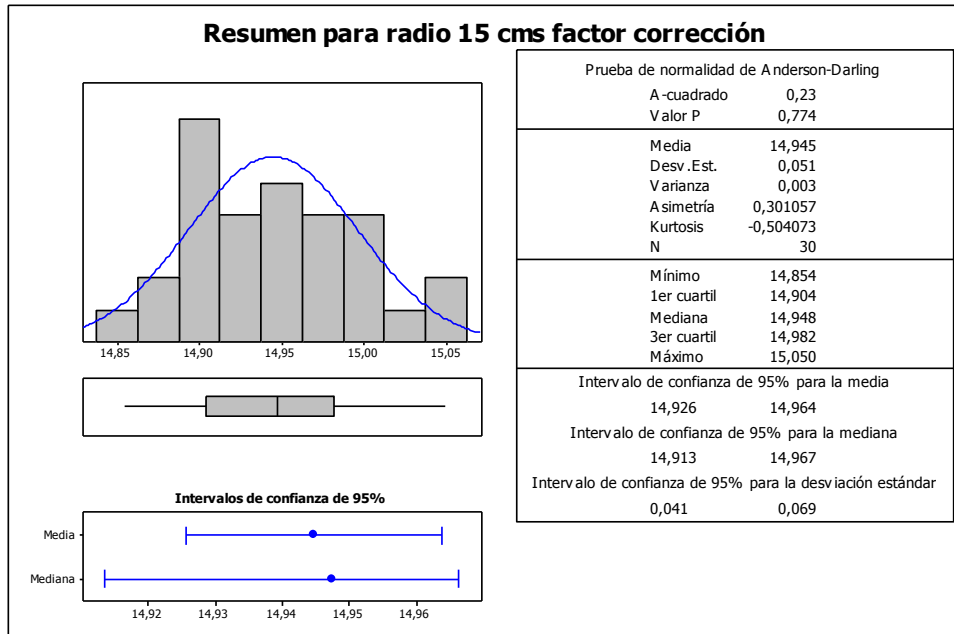
Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 185. Intervalos de tolerancia para las mediciones de radios de 10 cm en la circunferencia con factor de corrección.

Cuadro 66. Medidas para 30 radios de 15 centímetros con factor de corrección

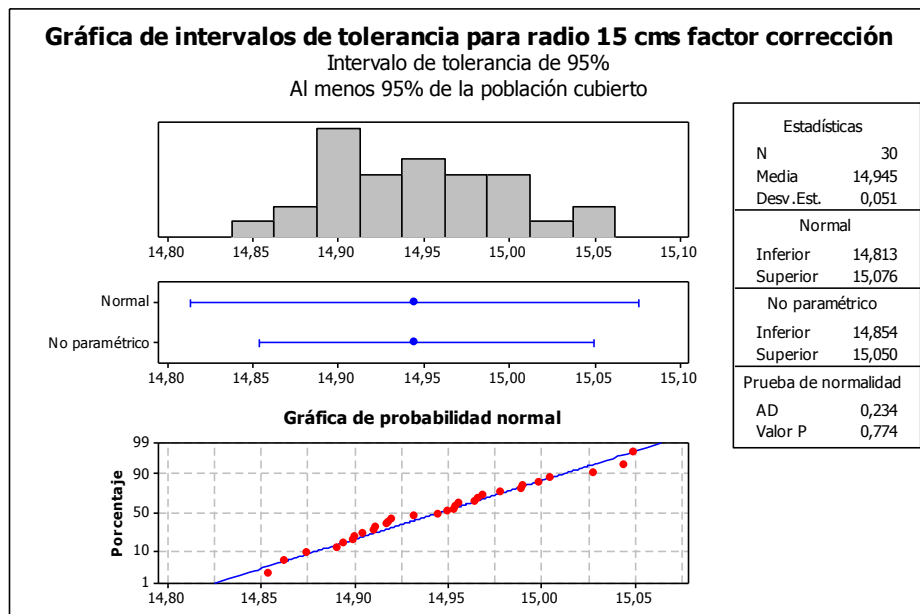
<b>Tamaño teórico del radio: 15 cm</b>					
<b>#</b>	<b>medida</b>	<b>#</b>	<b>medida</b>	<b>#</b>	<b>Medida</b>
<b>1</b>	14,965	<b>11</b>	14,956	<b>21</b>	14,900
<b>2</b>	14,905	<b>12</b>	14,967	<b>22</b>	14,901
<b>3</b>	14,932	<b>13</b>	14,979	<b>23</b>	14,875
<b>4</b>	14,895	<b>14</b>	14,912	<b>24</b>	14,891
<b>5</b>	15,005	<b>15</b>	14,854	<b>25</b>	15,050
<b>6</b>	14,95	<b>16</b>	14,863	<b>26</b>	15,045
<b>7</b>	14,945	<b>17</b>	14,919	<b>27</b>	15,028
<b>8</b>	14,955	<b>18</b>	14,920	<b>28</b>	14,999
<b>9</b>	14,969	<b>19</b>	14,918	<b>29</b>	14,991
<b>10</b>	14,954	<b>20</b>	14,911	<b>30</b>	14,990

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.



Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 186. Resumen estadístico para las mediciones de radios de 15 cm en la circunferencia con factor de corrección



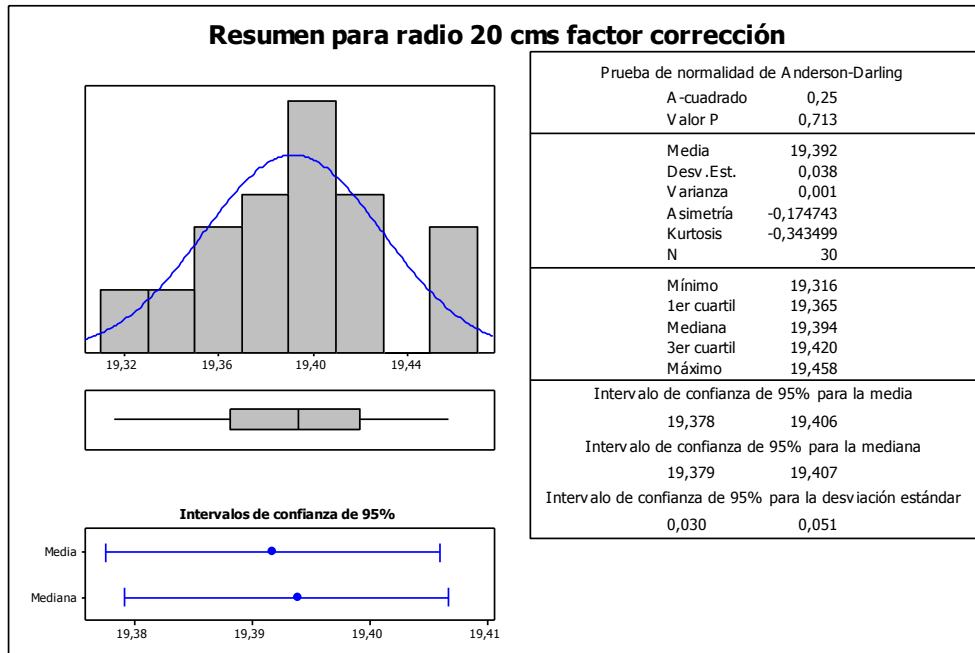
Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 187. Intervalos de tolerancia para las mediciones de radios de 15 cm en la circunferencia con factor de corrección.

Cuadro 67. Medidas para 30 radios de 20 centímetros con factor de corrección

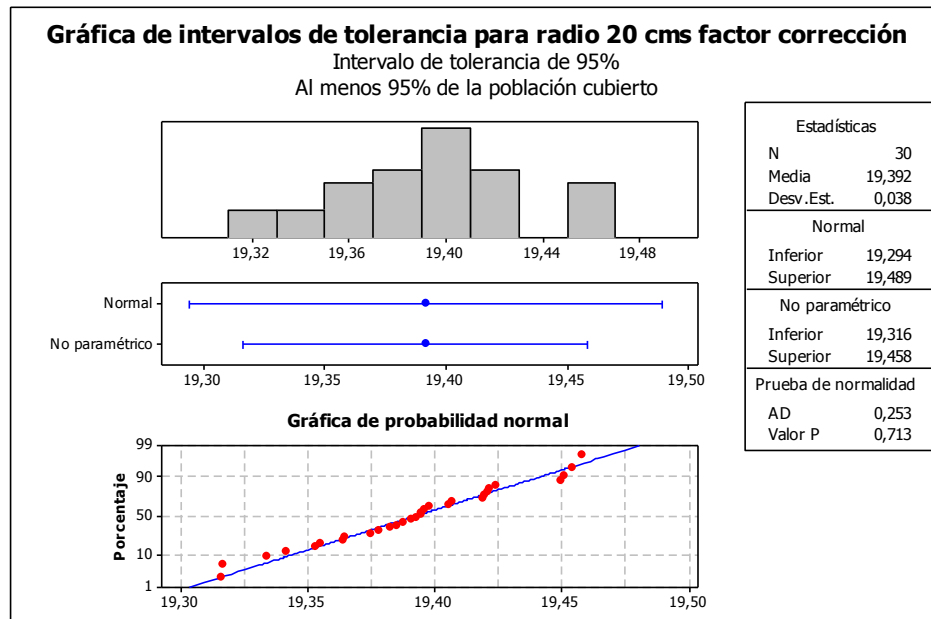
<b>Tamaño teórico del radio: 20 cm</b>					
<b>#</b>	<b>medida</b>	<b>#</b>	<b>Medida</b>	<b>#</b>	<b>Medida</b>
<b>1</b>	19,450	<b>11</b>	19,393	<b>21</b>	19,317
<b>2</b>	19,458	<b>12</b>	19,391	<b>22</b>	19,424
<b>3</b>	19,451	<b>13</b>	19,342	<b>23</b>	19,385
<b>4</b>	19,454	<b>14</b>	19,355	<b>24</b>	19,375
<b>5</b>	19,420	<b>15</b>	19,395	<b>25</b>	19,388
<b>6</b>	19,395	<b>16</b>	19,365	<b>26</b>	19,396
<b>7</b>	19,419	<b>17</b>	19,353	<b>27</b>	19,378
<b>8</b>	19,422	<b>18</b>	19,334	<b>28</b>	19,364
<b>9</b>	19,421	<b>19</b>	19,383	<b>29</b>	19,398
<b>10</b>	19,406	<b>20</b>	19,316	<b>30</b>	19,407

Fuente: Creación propia. Hecho con Microsoft Word.



Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 188. Resumen estadístico para las mediciones de radios de 20 cm en la circunferencia con factor de corrección



Fuente: Creación propia. Hecho con Minitab.

Figura 189. Intervalos de tolerancia para las mediciones de radios de 20 cm en la circunferencia con factor de corrección.

## Apéndice F. Encuesta para los profesores

### Tecnológico de Costa Rica

#### Proyecto: La robótica como instrumento pedagógico en la enseñanza de la geometría en alumnos de 1<sup>er</sup> ciclo: un estudio empírico

Fecha: \_\_\_\_\_

Estimado docente:

Con el fin de recopilar información relacionada con su percepción acerca de la robótica como un instrumento pedagógico en la enseñanza de la geometría, se le solicita dar respuesta al siguiente cuestionario.

1. ¿Conoce usted que los actuales programas del MEP, para la enseñanza de la matemática, impulsan la oportunidad de incorporar herramientas tecnológicas recientes? Sí: \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_

2. ¿Conoce usted acerca de herramientas no tradicionales para la enseñanza de la matemática? Sí: \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_ ¿Cuáles conoce?

---

---

---

---

3. ¿Había usted escuchado de robótica educativa anteriormente? Sí: \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_

4. Luego de la exposición, ¿Le interesa el tema de la robótica educativa?

Sí: \_\_\_\_\_ Continúe

No: \_\_\_\_\_ Pase a la pregunta 7

5. ¿Considera que su clase se puede beneficiar de la incorporación de un robot como herramienta didáctica? Explique brevemente.

---

---

---

---

6. ¿Ha trabajado con LEGO anteriormente? Sí: \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_

7. Enumere 3 ventajas y 3 desventajas que le observa al proyecto expuesto anteriormente.

Ventajas

---

---

---

Desventajas

---

---

---

8. Con respecto a sus alumnos, ¿cuáles son los contenidos de Matemática que presentan mayor dificultad para ellos? E indique tres factores que influyen en el aprendizaje de cada uno de esos contenidos

Contenidos	Factores

9. ¿Considera que un proyecto como el mostrado puede ayudar a sus alumnos a superar la dificultad de los contenidos descritos en la pregunta 8?

Sí: \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_ Explique brevemente.

---

---

---

10. ¿Considera que un proyecto como el mostrado puede motivar a sus alumnos a aprender Matemáticas?

Sí: \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_ Explique brevemente.

---

---

11. ¿Aplicaría el proyecto en su aula?

Sí: \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_ Explique brevemente.

---

---

---

Sugerencias:

---

---

---

---

---

---

Muchas gracias.

## Apéndice G. Guía de Instalación del software

- Requisitos técnicos

El programa de control de GeoBot necesita:

- Sistema operativo: Windows XP, service pack 3, o posterior
- La última versión de Java JDK para 32 bits, el cual puede ser descargado desde

<http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/downloads/index.html>

- Adaptador Bluetooth con la última versión de sus drivers instalada.

- Instalación del software LEJOS en el cerebro del Mindstorms

Se debe realizar lo siguiente:

- Instalación del driver USB LEGO

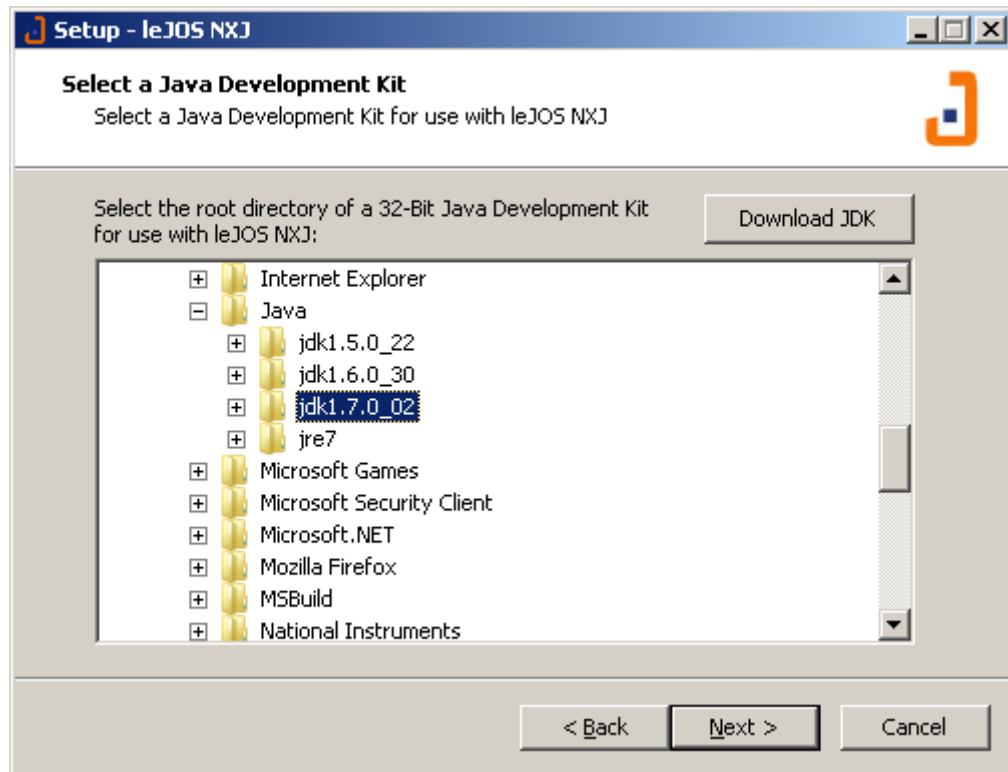
Descargar e instalar el driver desde <http://mindstorms.lego.com/en-us/support/files/Driver.aspx>, y seguir las instrucciones en pantalla.

- Descargar el software LEJOS

1. El software se debe descargar desde <http://lejos.sourceforge.net/nxj-downloads.php>. Nuevamente se deben seguir las instrucciones en pantalla.

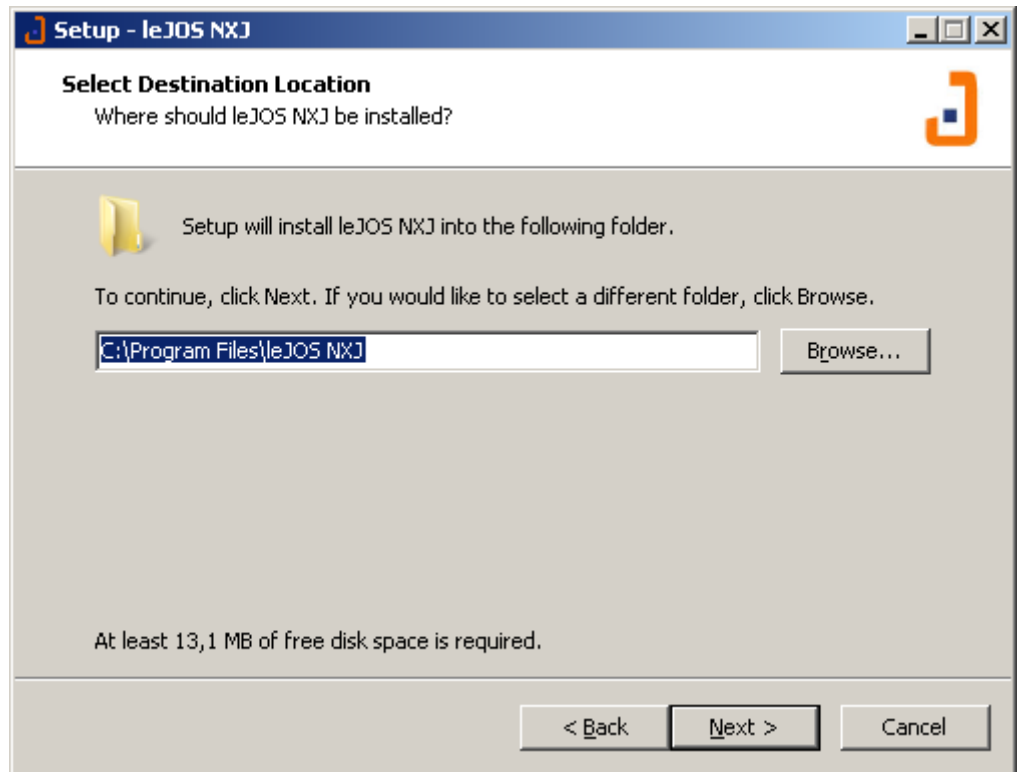


2. Al hacer clic en "next", el programa revisa que los drivers USB LEGO estén correctamente instalados; en caso contrario, no se puede continuar hasta que lo estén.
3. Si los drivers son los correctos, aparece la siguiente pantalla

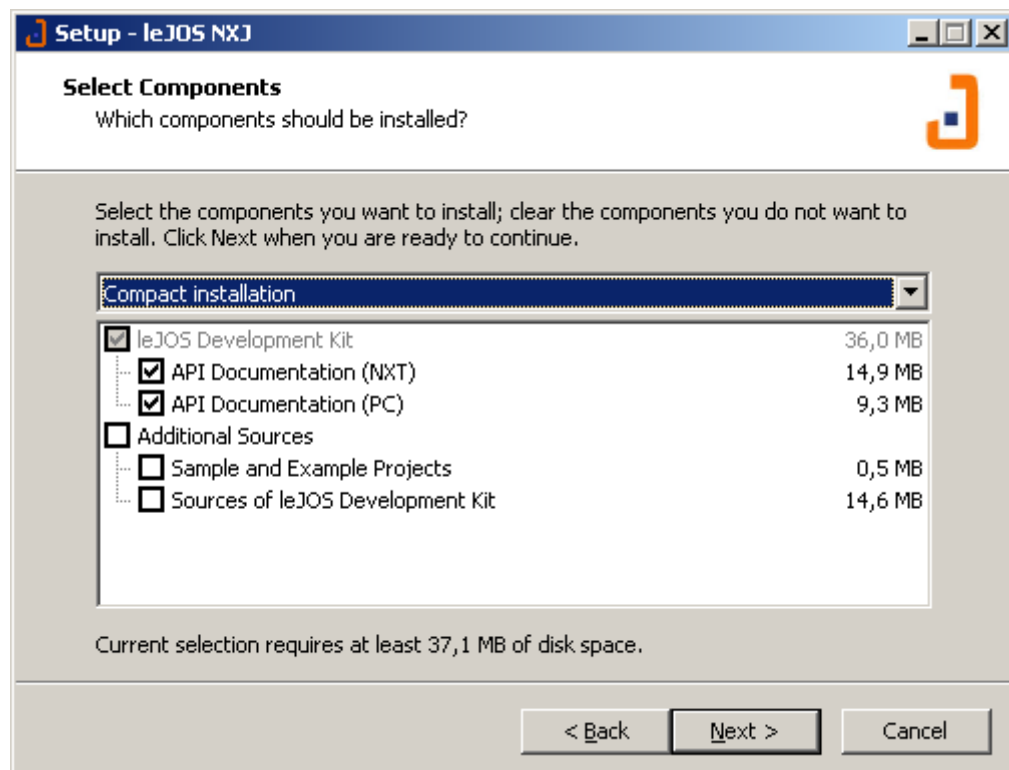


En ella se debe indicar el folder de instalación de la versión JDK de 32 bits de Java, como se señaló en los requisitos. En caso de estar instalada junto con la versión de 64 bits, esta última debe desinstalarse para que el programa funcione correctamente, y se reinicia el proceso de instalación de LEJOS.

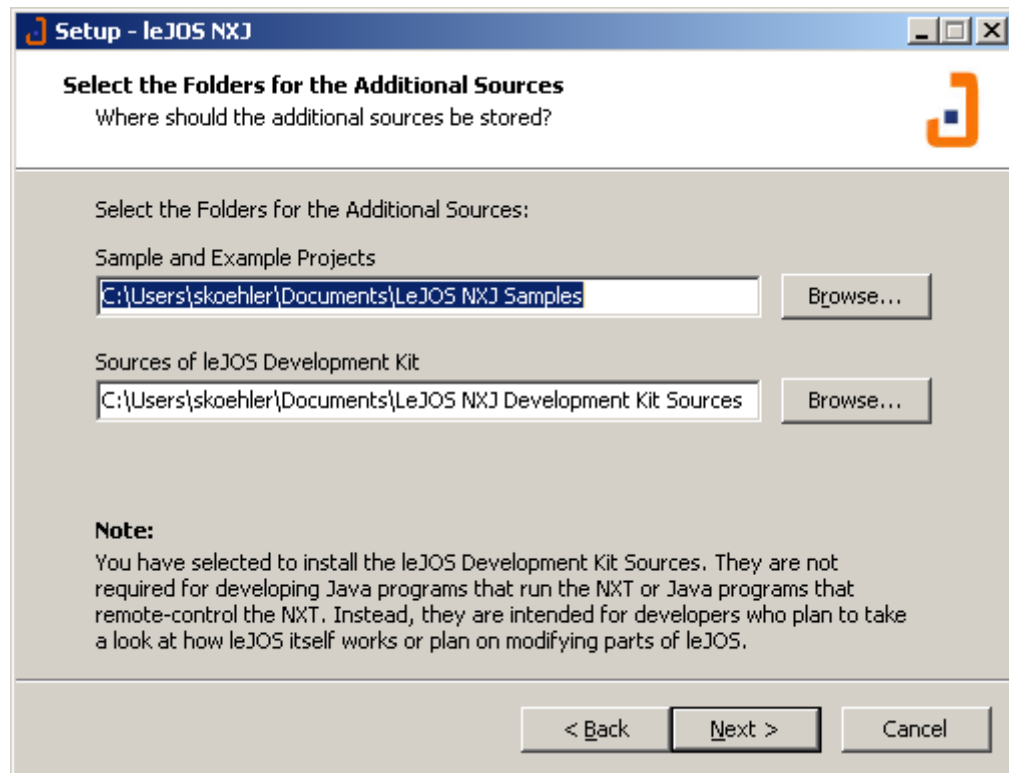
4. El siguiente paso consiste en seleccionar el fólder de instalación para LEJOS. Puede seleccionarse el fólder más adecuado para el usuario.



5. Luego se seleccionan los componentes deseados para instalar. Se recomienda instalarlos todos.

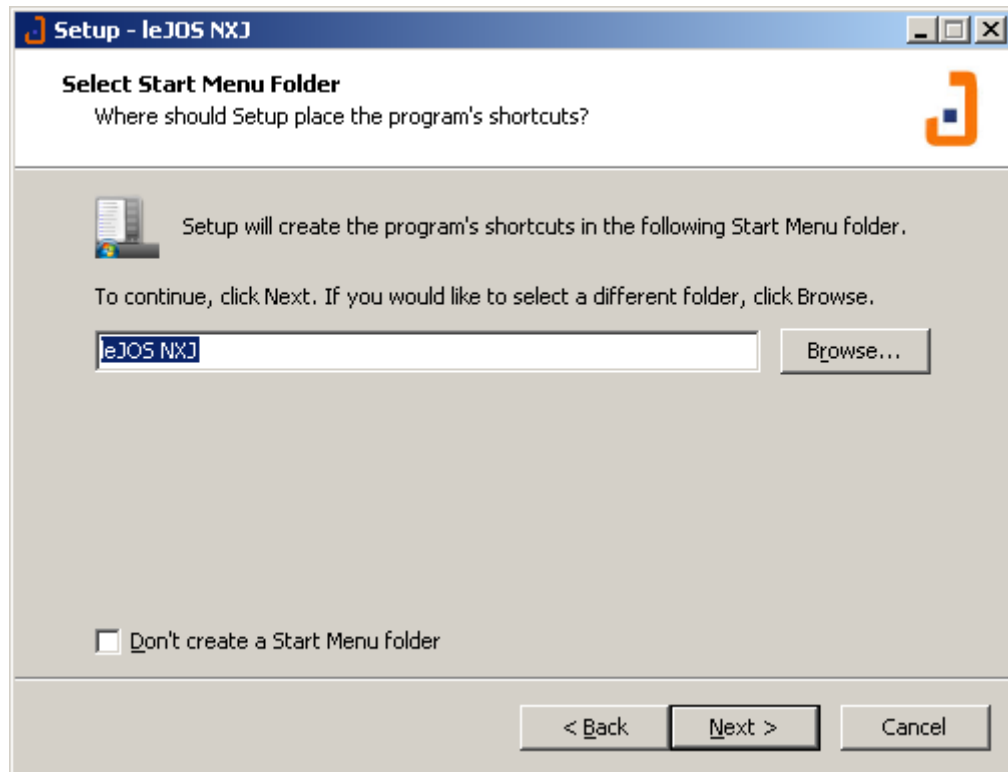


En caso de seleccionar los recursos adicionales, se desplegará la siguiente pantalla:

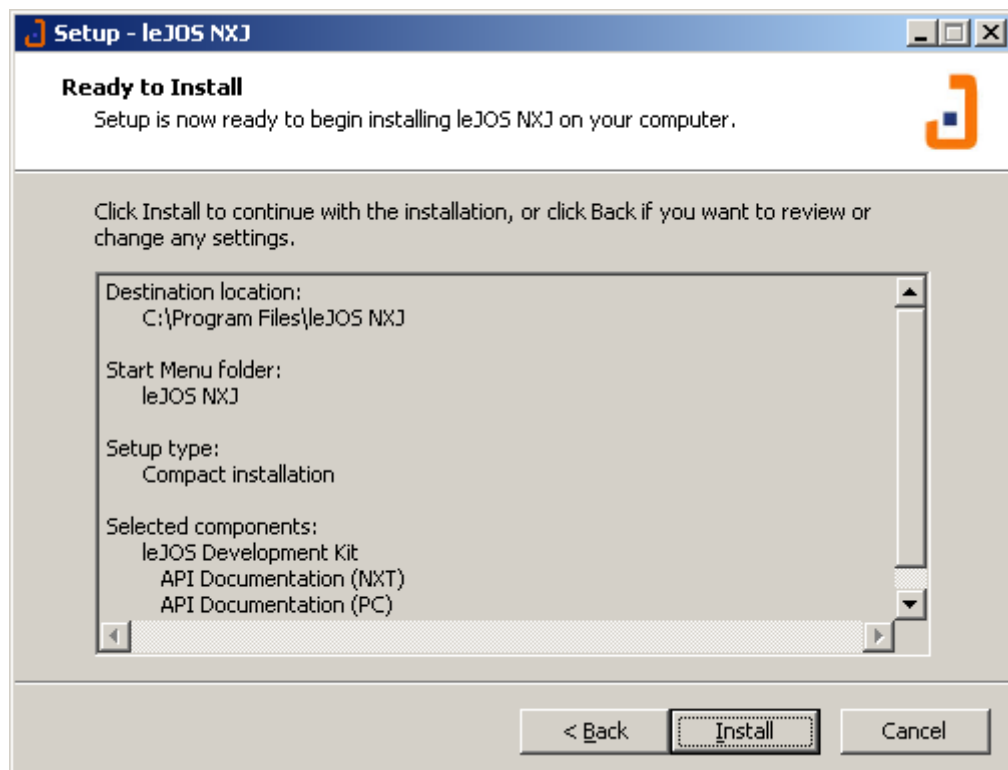


En ella se puede seleccionar el folder de instalación para cada uno de dichos recursos.

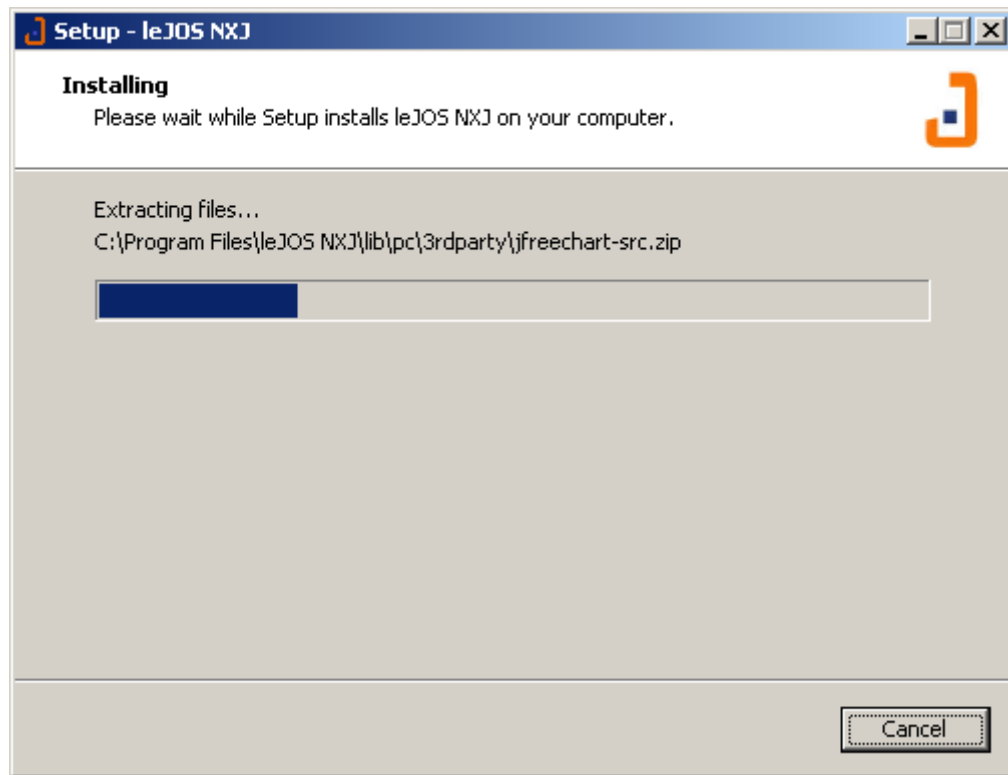
6. Una vez terminado el paso anterior, el siguiente paso permite seleccionar el folder del menú de inicio en el cual se instalará LEJOS



7. La siguiente página muestra un resumen de todas las opciones seleccionadas hasta este punto.



- Una vez revisado que todas las opciones sean las deseadas se hace clic en “next” e inicia la instalación

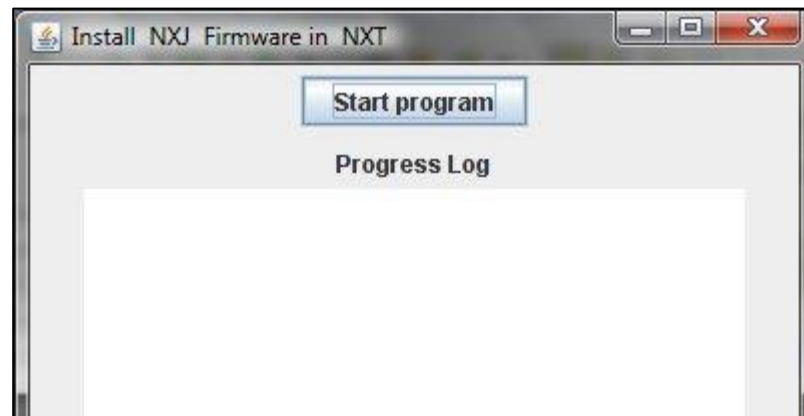


- Una vez terminado el proceso, se muestra la siguiente pantalla

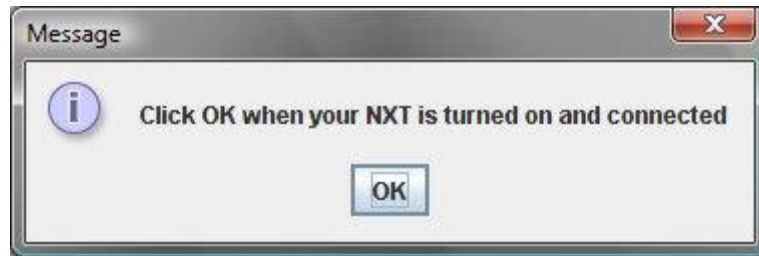


Es importante que esté seleccionada la opción “Launch NXJ Flash Utility”, pues es la que permite cambiar el software del cerebro.

10. Cuando se hace clic en “Finish” con la opción de Flash seleccionada, se despliega la siguiente pantalla



11. Al hacer clic se muestra lo siguiente:



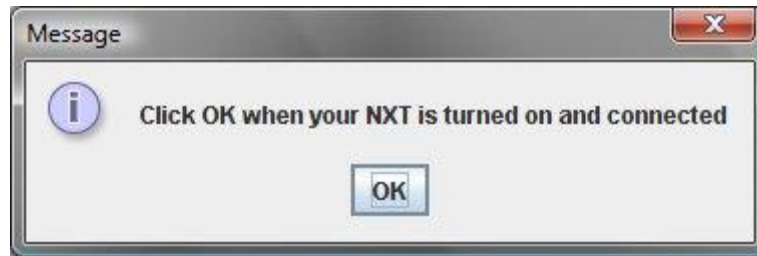
En este punto se debe conectar el cerebro Mindstorms al puerto USB de la PC, antes de hacer clic en OK. El programa revisará el estado de la conexión



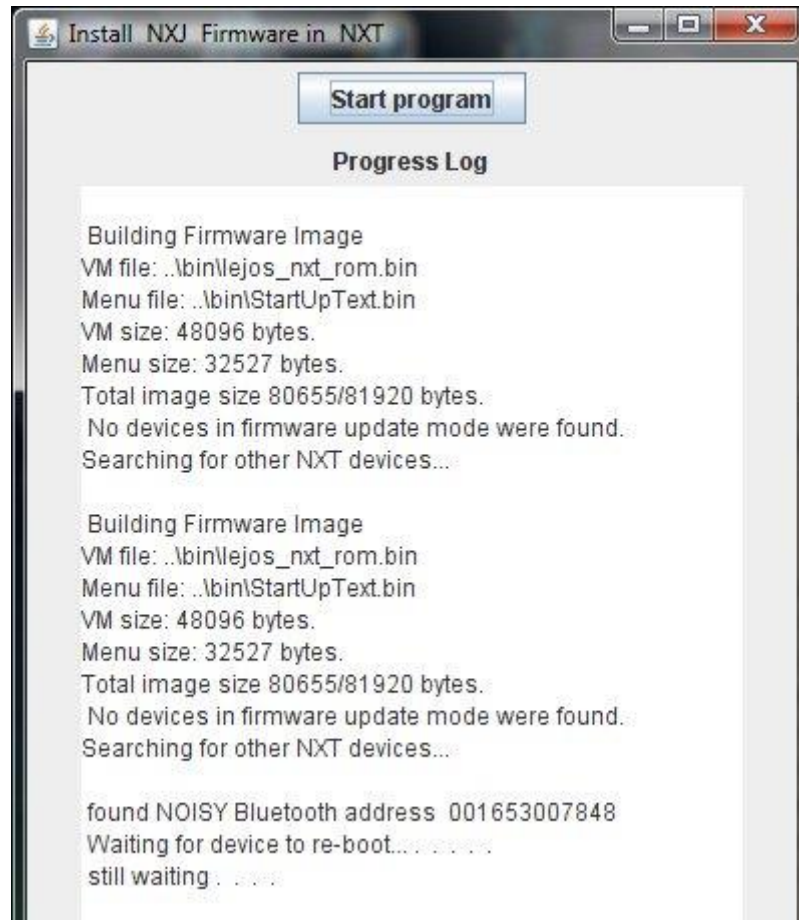
12. Si todo se encuentra bien, el programa preguntará si se desea borrar todos los datos del cerebro; debe indicarse que sí.



13. Nuevamente el programa revisa que exista conexión entre el cerebro y la PC. Es importante que la batería esté cargada completamente.



14. El proceso inicia al darle OK y muestra la siguiente pantalla



15. Una vez finalizado se presenta la opción de volver a cambiar el software a este cerebro u otro que se tenga a mano. Si se da clic en NO, el proceso finalizan exitosamente.



# ANEXOS

---

## Conceptos estadísticos

A continuación se definen algunos conceptos estadísticos los cuales se utilizaron para la valoración estadística del Capítulo 6, Ensayo de prueba.

### Media aritmética

Según Trejos Zelaya y Moya Vargas (2003), la media aritmética de un conjunto de valores se define como la suma de todos esos valores dividida por el número de ellos. La media aritmética puede ser simple o ponderada.

Sean  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$  los  $n$  valores observados para una variable cuantitativa  $X$ . Entonces, la media aritmética o promedio simple de la variable  $X$ , que se denota con una barra encima de  $X$ , es:  $\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n}$

Además, Gómez Barrantes (2010) define la media como la medida de posición más usada y conocida. Corrientemente se le llama “promedio”... Existen dos formas alternativas para su cálculo: como una media aritmética simple o una media aritmética ponderada.

La media aritmética simple de un conjunto de valores es el resultado que se obtiene al dividir la suma de esos valores entre el número de ellos.

### Mediana

Según Trejos Zelaya y Moya Vargas (2003), la mediana es el valor que está en el “centro” de todos los valores, si estos se ordenan. Es decir, es un valor tal que no

más de la mitad de las observaciones son mayores que él y que no más de la mitad son menores que él. La mediana se denota  $Me$ .

Supóngase que se tienen las observaciones  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$  de una variable cuantitativa y que estas observaciones están ordenadas. Entonces el valor de la mediana dependerá de si el número  $n$  de datos es par o impar:

Si  $n$  es impar, entonces la mediana se encuentra en la posición  $(n + 1) \div 2$ , que es exactamente la posición que separa los datos en dos grupos de igual cantidad:

$$Me = X_{\frac{n+1}{2}}$$

Si  $n$  es par, entonces la mediana estará entre la posición  $\frac{n}{2}$  y la posición  $\frac{n}{2} + 1$ , para que los datos se dividan en dos grupos de  $\frac{n}{2}$  valores cada uno. Es usual entonces tomar la mediana como la media aritmética entre los datos  $X_{\frac{n}{2}}, X_{\frac{n}{2}+1}$ , es decir: Gómez Barrantes, 2010

$$Me = \frac{X_{\frac{n}{2}} + X_{\frac{n}{2}+1}}{2}$$

Además, Gómez Barrantes (2010) indica que la mediana es una típica medida de posición y la define como el valor central de una serie de datos ordenados o, más específicamente, como un valor tal que no más de la mitad de las observaciones son menores que él y no más de la mitad, mayores.

Cuando se tienen datos sin agrupar y se desea calcular la mediana es necesario, en primer lugar, ordenarlos de acuerdo con su magnitud. Luego se determina el valor central de la serie y esa es la mediana. Si el número de datos es par, existirán dos valores centrales y entonces la medida se obtiene haciendo el promedio de ellos. El cálculo se facilita recordando que el valor central de una serie de  $n$  datos es el  $\frac{n+1}{2}$  término de la serie.

### Desviación estándar

Según Trejos Zelaya y Moya Vargas (2003), la desviación estándar es el promedio de desviación o diferencia de las observaciones con respecto a la media aritmética. Cuanto mayor es la dispersión de los datos alrededor de la media aritmética, mayor es la desviación estándar. Se denota como  $s$ .

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

Dónde:

$X_i$  son los datos,  $\bar{X}$  es la media y  $n$  es el número total de datos.

Además, Gómez Barrantes (2010) indica que es una medida de dispersión basada en las desviaciones respecto a la media aritmética; esta indica cuanto se alejan, en promedio, las observaciones de la media aritmética del conjunto.

### Distribución Normal

Según Morales (2007), una distribución normal (o curva normal) es una distribución simétrica y de forma acampanada que nos indica que la mayoría de los sujetos (u objetos) de una población determinada, no se aparta mucho de la media; en la medida en que los sujetos se van apartando más de la media (porque se pasan o porque no llegan), van siendo menos y menos.

El hecho de que las magnitudes según se van apartando de la media (en cualquiera de las dos direcciones) van siendo mucho menos frecuentes, ello se lo expresa gráficamente mediante la curva normal como se observa en la figura siguiente, que es la representación gráfica de una función matemática que indica la probabilidad de encontrar (de que se dé por azar, por factores aleatorios) cualquier magnitud (o puntuación), se si conoce en cuántas desviaciones típicas se aparta de la media de su distribución.



Figura A1. Curva normal: a la izquierda, para una variable discreta; a la derecha, para una variable continua

### Intervalo de confianza

Según Clark (2004), un intervalo de confianza es un recorrido de valores, basados en una muestra tomada de una población, en el que cabe esperar que se encuentre el verdadero valor de un parámetro poblacional con cierto grado de confianza...Un intervalo de confianza de 95%, indica que si el investigador repitiese su estudio en las mismas condiciones, pero con distintas muestras aleatorias, noventa y cinco de cada cien veces obtendría intervalos que contendrían el verdadero parámetro poblacional y cinco veces obtendría intervalos que no lo contendrían.

Además, para Candia B & Caiozzi A (2005), el intervalo de confianza describe la variabilidad entre la medida obtenida en un estudio y la medida real de la población (el valor real). Corresponde a un rango de valores, cuya distribución es normal y en el cual se encuentra, con alta probabilidad, el valor real de una determinada variable... Así, un intervalo de confianza de 95% indica que dentro del rango dado se encuentra el valor real de un parámetro con 95% de certeza.

Por su parte, Sarabia Alegría & Pascual Sáez (2005), un intervalo de confianza es un intervalo que contiene al verdadero valor del parámetro con probabilidad alta. Los extremos del intervalo se pueden considerar como estimadores por exceso y por defecto del parámetro. La probabilidad  $1 - \alpha$  se le denomina nivel de confianza y al término  $\alpha$  error. Los valores que se eligen para el error suelen ser 0,05 y 0,01 y, por tanto, los niveles de confianza usuales son 0,95 y 0,99, respectivamente.

Para Mora Valverde (2008) el caso del intervalo para la media utiliza la siguiente fórmula, según:

$$\left( \bar{X} - T_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}, \bar{X} + T_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} \right)$$

Dónde:

$\bar{X}$  es la media,  $\alpha$  el error,  $s$  la desviación estándar de los datos y  $n$  es el número total de datos.

Luko & Neubauer, 2011

### Intervalo de tolerancia

Según Luko & Neubauer (2011), un intervalo de tolerancia es un intervalo elaborado con una serie de datos de las muestras de modo que contenga toda observación futura con alguna confianza expresada. Otra manera de expresar esto es decir que como mínimo un  $100\% \cdot p$  de una población entrará dentro del intervalo de tolerancia con alguna confianza expresada ( $0 < p < 1$ )...El intervalo de tolerancia está expresando que como mínimo cierta proporción  $p$  de todas las observaciones futuras, estarán contenidas dentro del intervalo.

Supóngase que se tiene una muestra aleatoria de  $n$  observaciones  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ . En el caso de la distribución normal, la elaboración del intervalo de tolerancia bilateral es  $(\bar{X} - ks, \bar{X} + ks)$ , donde  $k$  es una función del tamaño de la muestra  $n$ , entonces la confianza  $C$  y la proporción mínima  $p$ , requerían ser captadas por el intervalo. El siguiente cuadro contiene algunos valores de  $k$ , para valores comunes seleccionados de  $C$ ,  $p$  y  $n$ .

n	C	p	k
22	0.95	0.90	2.264
22	0.95	0.95	2.697
30	0.95	0.90	2.140
30	0.95	0.95	2.549
50	0.95	0.90	1.996
50	0.95	0.95	2.379
75	0.95	0.90	1.917
75	0.95	0.95	2.285
100	0.95	0.90	1.874
100	0.95	0.95	2.233

Cuadro1. Algunos valores de  $k$ , utilizados para el cálculo del intervalo de tolerancia

Para este proyecto se realizaron 30 observaciones, con una confianza del 95% y la proporción mínima también del 95%, por lo que el valor de  $k$  que se utilizó fue 2,549.

Según *Walpole, Myers, & Myers (1999)*, es importante la diferencia entre límites de confianza y límites de tolerancia. El intervalo de confianza sobre la media no es útil a menos que el analista de datos esté interesado en la media poblacional. La media de la población se necesita estimar y el intervalo de confianza produce los límites apropiados. En cambio, el intervalo de tolerancia está mucho más atento a donde caen las observaciones individuales.

## Costo de implementar el proyecto

En el siguiente cuadro se muestra el costo de implementar el proyecto en una escuela de primaria, con un aula y 30 estudiantes, utilizando un equipo para cada pareja de estudiantes y un equipo para el docente.

Artículos	Precio unitario	Unidades	Precio total
Regleta protector	¢ 2 375.00	5	¢ 11 875.00
Extensión eléctrica	¢ 6 050.00	5	¢ 30 250.00
Portátil	¢ 689 000.00	16	¢ 11 024 000.00
LEGO MINDSTORMS Education NXT Base Set, #ref 9797	¢ 264 000.00	16	¢ 4 224 000.00
LEGO MINDSTORMS Education Resource Set, #ref 9695	¢ 110 000.00	16	¢ 1 760 000.00
Cargador para batería NXT, #ref 8887	¢ 22 000.00	16	¢ 352 000.00
Capacitación para el docente	¢		¢ 2 178 600.00
<b>TOTAL</b>			<b>¢ 19 580 725.00</b>

Cuadro2. Costo de implementar el proyecto en una escuela de primaria

Detalle del equipo y la capacitación:

- **Regleta protector**  
Forza 6 outlets, cotizada en COMPUBETEL.S.A. Tel (506) 2551-7272
- **Extensión eléctrica**

Polarizada 3x16, 7.5mts 25 pies (eagle águila), cotizada en laferreteriadigital.com, Tel (506) 2211-5050

- **Portátil Toshiba Portégé**

R930-SP3346L - Core i5 3320M / 2.6 GHz - Windows 7 Professional 64-bit, 4 GB RAM, 640 GB HDD, DVD SuperMulti, 13.3" TruBrite panorámico 1366 x 768 / HD, Intel HD Graphics 4000, negro grafito metalizado.

Cotizada en COMPUBETEL.S.A. Tel (506) 2551-7272

- **LEGO MINDSTORMS Education NXT Base Set, #ref 9797**

Set básico que contiene 431 piezas, 2 bandejas de clasificación, un ladrillo programable NXT, 3 servo motores, 1 sensor de luz, 1 de sonido, 1 ultrasónico y 2 de contacto, 7 cables de conexión, una batería de polímero de iones de litio y un cable USB.

Cotizado en Aprender haciendo, CR. Representante exclusivo de Lego Education. Tel (506) 8891-7368.

- **LEGO MINDSTORMS Education Resource Set, #ref 9695**

Set de recurso que incluye elementos especiales, tales como correas, conectores exclusivos, un tornillo sin fin, elementos estructurales, así como otros elementos LEGO, como vigas, ejes y conectores. Es el complemento ideal para el 9797 Base Set.

Cotizado en Aprender haciendo, CR. Representante exclusivo de Lego Education. Tel (506) 8891-7368.

- **Cargador para batería NXT, #ref 8887**

Este transformador DC 10V estándar le permite recargar su batería recargable.

Cotizado en Aprender haciendo, CR. Representante exclusivo de Lego Education. Tel (506) 8891-7368.

- **Capacitación para el docente**

Capacitación para docentes en el tema de "Robótica Educativa" durante 40 horas. Esta capacitación es brindada por 2 profesionales con grado de maestría e incluye el certificado de aprovechamiento para cada participante. Donde la institución interesada debe proporcionar el equipo y las

instalaciones. Cotizado Fundación Tecnológica de Costa Rica, Escuela de Educación Técnica.

# CURRICULUM VITAE

---

## *CURRICULUM VITAE*



**Nombre** Angie Cristina Solís Palma  
**Fecha de nacimiento** 8 de julio de 1982  
**Nacionalidad** Costarricense  
**Cédula** 2-0573-0580  
**Estado civil** Unión libre  
**Grado Académico** Licenciada  
**Profesión** Profesora de Matemática  
**Teléfonos** 8516-3536  
2550-2225  
**Dirección actual** San Francisco de Agua Caliente, Cartago  
**e-mail:** [ansolis@itcr.ac.cr](mailto:ansolis@itcr.ac.cr) , [m.c.angies.08@gmail.com](mailto:m.c.angies.08@gmail.com)

## **ESTUDIOS REALIZADOS**

**2007 - 2010** **Instituto Tecnológico de Costa Rica - Cartago, C.R.**  
Grado Académico obtenido: Licenciatura en Enseñanza de la Matemática Asistida por Computadora.

**2000 – 2003** **Instituto Tecnológico de Costa Rica - Cartago, C.R.**  
Grado Académico obtenido: Bachillerato en Enseñanza de la Matemática Asistida por Computadora

**1998 – 1999** **Colegio Científico Costarricense – San Carlos, Alajuela, C.R.**  
Bachiller en Educación Media

**1995 – 1997** **Colegio Técnico Profesional de Santa Rosa – San Carlos, Alajuela, C.R.**  
III Ciclo, noveno año

## ***ESTUDIOS QUE REALIZO ACTUALMENTE***

**2010 – 2013**

**Instituto Tecnológico de Costa Rica – Cartago – Zapote, C.R.**

Maestría en Sistemas Modernos de Manufactura. Escuela de Producción industrial.

## ***EXPERIENCIA LABORAL***

**Febrero 2006 – Abril 2013**

**Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Matemática**

Cursos impartidos: Matemática Básica para Administración, Cálculo para Administración, Matemática General, Cálculo Diferencial e Integral, Cálculo y Algebra Lineal, Ecuaciones Diferenciales, Cálculo y Geometría Analítica.

**Febrero – Diciembre 2005**

**Colegio Vocacional de Artes y Oficios**

Departamento de Matemática

**Mayo – Diciembre 2004**

**Instituto Tecnológico de Costa Rica, Fundación Tecnológica**

Escuela de Ingeniería en Electrónica, Plan de Diplomado. Cursos impartidos: Matemática I y Matemática III

**Mayo – Agosto 2004**

**Universidad Americana, Escuela de Informática**

Curso impartido: Lógica y Algoritmos

**Mayo – Junio 2004**

**Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Matemática**

Curso impartido: Matemática Básica para Administración

**Noviembre – Diciembre 2004**

**Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Matemática**

Asistente Especial en la Organización del III Congreso Internacional sobre la Enseñanza de la Matemática Asistida por Computadora

**Septiembre – Diciembre 2003**

**Instituto Tecnológico de Costa Rica – Centro de Investigación y Perfeccionamiento de la Educación Técnica**

Asistente del programa de auto evaluación del Profesorado y Bachillerato de Educación Técnica

**Agosto – Noviembre 2002**                    **Colegio San Luis Gonzaga, Cartago.**  
Realización de la práctica docente como profesora de matemática.

**Diciembre 2001**                            **Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Matemática**  
Asistente en la Acreditación del II Congreso Internacional sobre la Enseñanza de la Matemática Asistida por Computadora

***PARTICIPACIÓN Y PONENCIAS EN EVENTOS DE PROYECCIÓN ACADÉMICA***

**2011**    **VII Congreso Internacional sobre Enseñanza de la Matemática Asistida por Computadora**

Organizador: ITCR  
Sede: Cartago  
Taller: Trabajo en el aula con material concreto.

**2010**    **Día del Juego Matemático Tercera Edición**

Organizadores: Universidad Americana, République Française y France Coopération  
Sede: Liceo Franco Costarricense  
Taller: Aprendamos geometría usando material concreto.

**2010**    **VII Festival Internacional de Matemática**

Organizadores: ITCR, UNA, UNED, UCR, CIENTEC, MEP, MICIT y COLYPRO  
Sede: ITCR Santa Clara, San Carlos  
Taller: Enseñe geometría en primaria utilizando material concreto.

**2009**    **VI Congreso Internacional sobre Enseñanza de la Matemática Asistida por Computadora**

Organizador: ITCR  
Sede: Cartago  
Taller: Uso de Jclíc en la enseñanza de la matemática a nivel de primaria.  
Taller: Uso material concreto en la enseñanza de la matemática a nivel de primaria.  
Taller: Juegos en la enseñanza de la matemática.



## **Curriculum vitae**

Carlos Otárola Zúñiga

Cédula.: 1-1139-0411

[otazun@gmail.com](mailto:otazun@gmail.com) , [cotarola@itcr.ac.cr](mailto:cotarola@itcr.ac.cr)

T. (506) 2294 3589 Cel. 8847 3439

### **Experiencia laboral reciente**

- 2006 - 2007. Diseño de elementos estructurales, Holcim S.A.
- 2007 – 2011. Diseño de elementos para turbinas de gas en la industria aeronáutica. Agilis C.R.
- 2011 – Presente. Docente en Escuela de Ingeniería Electromecánica, Instituto Tecnológico de Costa Rica.

### **Experiencia en investigación reciente**

- 2013 – Presente. Participación conjunta con el grupo PlasmaTEC, para el diseño mecánico de un dispositivo experimental de confinamiento magnético del plasma de bajo costo llamado S-CR1 (Stellarator de Costa Rica 1)

### **Formación académica**

- 2010. Diploma en Procesos de maquinado convencional y CNC con Torno y Fresadora. Instituto Nacional de aprendizaje (INA).
- 2009 – Presente. Maestría en Sistemas Modernos de Manufactura. Instituto Tecnológico de Costa Rica
- 2000 - 2006 Bachillerato en Ingeniería Mecánica en la Universidad de Costa Rica.
- 2003 - 2004 Asistente del curso Mecánica de Sólido, Escuela de Ingeniería Mecánica, Universidad de Costa Rica.
- 1995 - 1999 Bachiller en Educación Media. Colegio María Inmaculada Moravia, San José Costa Rica.
- Idiomas: Español como lengua materna, Inglés fluido, Italiano básico y Alemán básico.

### **Capacidades técnicas**

- Manejo avanzado de software de Diseño, Inventor 2013, Unigraphics NX4, , AutoCad 2012.
- Manejo avanzado de herramientas de Internet y diversos programas informáticos entre ellos Windows XP, Word, Excel, Power Point, Mozilla Firefox, Open Office.
- Conocimiento teórico-práctico en soldadura de arco eléctrico para estructuras metálicas. Colegio

- Universitario de Cartago.
- Conocimiento intermedio en software estadístico como Minitab 16. (Conocimiento básico de diseño de experimentos usando Minitab).
- Conocimientos básicos en lenguajes de programación para sitios web, habilidades básicas de programación.
- Conocimientos básicos de software para análisis numérico y elemento finito como ANSYS Workbench 10.
- Conocimiento básico en software CAM como EdgeCam.

### **Referencias**

- Lic. Leticia Mason Smith, Representante de Recursos Humanos, Agilis C.R.  
Email: [lmason@agilis.com](mailto:lmason@agilis.com), tel.: 88685745
- Ing. Jose Castro Alvarado, Ingeniero Mecánico en Diseño, Agilis C.R.  
Email: [josecastrocr@gmail.com](mailto:josecastrocr@gmail.com), tel: 88712168.