

BETOS

● DOCUMENTO TÉCNICO · CONSTRUIR LOS BETOS · VERSIÓN 2.1 · 23 DE OCTUBRE DE 2026 ●

Todo lo que hace falta para fabricar dos Betos, su barrera y una base de prueba, y hacerlos andar en una pileta. Es el mismo robot que se ve en el video y en la demo de la web: la simulación física donde se probó en miles de lagos. Ninguna medida de este documento fue tomada todavía en un robot de verdad.

De dónde sale cada número. SIM se midió en la simulación del lago (MuJoCo, TUTOR.JS) · CAD sale del modelo 3D (BETO_V2.STEP, PLANOS_BETO.PDF) · FICHA es dato del fabricante · ESTIMADO es cálculo o propuesta, a confirmar con el prototipo.

01 El sistema

Dos Betos —esferas de 25 cm que ruedan en tierra y reman en el agua— van unidos por una **barrera de flotadores** de 2 m. Juntos encierran la basura que flota, la arrastran hasta la **base** en la orilla y la dejan adentro. Un **dron** que vive en el techo de la base patrulla el lago, ve la basura desde arriba y ve a los Betos.

PASO	QUÉ PASA	QUIÉN
1 · Ver	El dron recorre el lago y marca dónde flota basura. Ve también dónde está cada Beto.	Dron (en la pileta: una cámara fija arriba)
2 · Decidir	La computadora de la base elige a qué basura ir, por dónde pasar y desde qué lado, y traza el camino.	Base
3 · Salir	Sube el portón y los Betos bajan por la rampa al agua, con la barrera tendida en U por detrás.	Betos
4 · Encerrar	Pasan uno a cada lado de la basura y la barrera la envuelve.	Betos + barrera
5 · Entregar	Vuelven a la base remolcando la U con la basura adentro; en la boca, una corriente suave la chupa hacia adentro ESTIMADO .	Betos + base
6 · Volver a empezar	Los Betos salen de nuevo por lo que queda. El dron vuelve a posarse en el techo y se carga.	Todos

02 Dónde está el cerebro

El Beto no piensa: **obedece**. Todo lo que decide corre en la computadora de la base, con el mismo programa de la simulación. Así cada Beto es barato y fácil de arreglar, y el cerebro se puede probar en la pantalla antes de mojar nada.

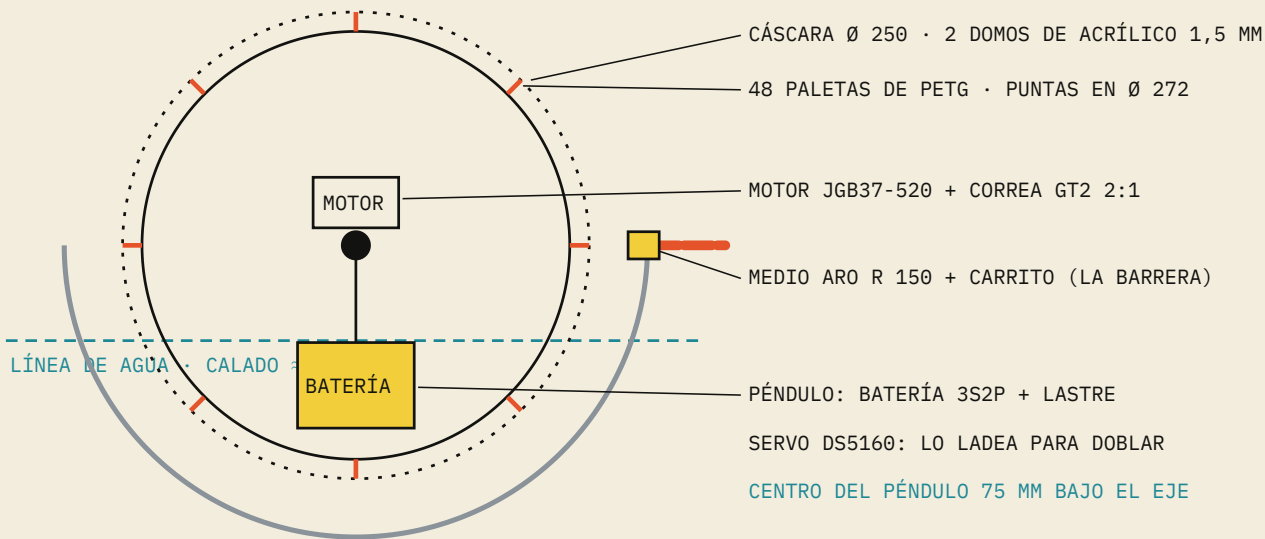
DÓNDE	QUÉ HACE	CADA CUÁNTO
Base · la cabeza	Mira la basura y a los Betos y decide la próxima pasada (a qué grupo de basura ir, desde qué ángulo). Programa: TUTOR - CLAUDE . JS (Piloto) más la red que planifica (PLAN - CEREBRO . JSON).	Cada vez que termina una pasada
Base · las manos	La red neuronal que maneja: con lo que ve cada Beto (56 datos) calcula dos números, avance y giro , entre -1 y 1. Red de 56 → 128 → 128 → 2 (PAR - CEREBRO - MEDIO - ARO . JSON).	10 veces por segundo
Cada Beto · placa ESP32	Convierte avance y giro en velocidad del motor e inclinación del péndulo. Devuelve rumbo, velocidad de la cáscara y batería.	100 veces por segundo
Seguridad (en el Beto)	Medio segundo sin órdenes: motor en cero y péndulo derecho.	Siempre

Qué tan bien anda [SIM](#): el programa solo (sin redes), con errores de sensores comunes (5 cm en la posición de cada Beto, 2,3° en el rumbo, 10 cm en la basura), juntó todo en 24 de 24 lagos con basura junta, con viento, con isla y con un barco que cruza; con la basura muy desparramada, 22 de 24. Con el doble de error de sensores se vuelve lento y pierde lagos. **De ahí salen los sensores que pide:** la posición de cada Beto con unos 5 cm de error, el rumbo con unos 2°, la basura con unos 10 cm.

Las 56 entradas de la red (lo que el Beto "sabe", medido desde él mismo): su velocidad y giro; cuánto está hundido y qué peso carga; dónde está en el lago y hacia dónde queda la base; dónde está, hacia dónde mira y cómo se mueve el compañero; hacia dónde lo tira la barrera y dónde están tres puntos de la barrera; cuánto tira; las cuatro basuras más cercanas (dónde están, si existen, si están hundidas); cuántas quedan; qué Beto es; adónde le dice la cabeza que vaya y el punto siguiente; si va marcha atrás; cuánto va adelantado al compañero; y dónde está y cómo se mueve una isla o un barco, si hay.

03

El Beto por dentro



CORTE ESQUEMÁTICO DE COSTADO (NO A ESCALA EXACTA). GIRA SÓLO LA CÁSCARA CON SUS PALETAS; EL PÉNDULO CUELGA DEL EJE Y NO GIRA. EL MEDIO ARO VA ATRÁS, A LA ALTURA DEL EJE.

Cómo se mueve

Avanzar. El motor va en el yugo del péndulo, que cuelga del eje, y por la correa hace girar la cáscara. Como el péndulo pesa 2,3 kg SIM, en vez de girar el péndulo gira la cáscara: en tierra el Beto rueda y en el agua las paletas reman. Con más de 1,06 N·m en la cáscara el péndulo da la vuelta en lugar de la cáscara: el programa limita el par.

Doblar. El servo ladea el péndulo hacia uno de los polos (hasta ±57°): el peso corrido hace que la esfera describa una curva.

Tirar de la barrera sin caerse. La barrera no se ata a la cáscara (que gira) sino a un **carrito** que corre libre por un **medio aro**. El medio aro se toma de las dos puntas del eje con un rulemán en cada una: no gira con la pelota y cabecea libre. Pasa por detrás del Beto, a la altura del eje, a 15 cm del centro SIM. Como el carrito corre, la barrera tira siempre derecho hacia donde está, y el Beto puede doblar aunque vaya remolcando. (Con la barrera atada fija, en la simulación doblaba 1,5° por segundo: no doblaba.)

Medidas

PARTE	VALOR	ORIGEN	POR QUÉ
Esfera	Ø 250 mm	SIM	Chica, como pide el proyecto; entra el péndulo con la batería.
Cáscara	2 domos de acrílico soplado de 1,5 mm, falda recta de 10 mm, unidos por un anillo de PETG con 2 O-rings	CAD	Con 2 mm la cáscara pasa los 660 g y no sube la playa.
Paletas	48 (24 por domo), 1,2 mm de espesor, las puntas forman una esfera de Ø 272 mm (11 mm de alto en el ecuador)	CAD SIM	Con 12 la esfera rueda como un polígono y se trava en una playa de 8°; con 24 por domo sube y nada mejor (0,21 m/s).
Masa de lo que gira	objetivo ≤ 0,53 kg	SIM	Con 0,78 kg no sube la playa.
Péndulo	2,3 kg, centro 75 mm bajo el eje	SIM	Es el que da la fuerza para rodar y doblar.
Masa total	≈ 2,8 kg	SIM	Flota con unos 10 cm hundidos (la esfera entera desplaza 8,2 litros).
Par en la cáscara	0,2 N·m sostenido, picos de 0,9 N·m	SIM	Alcanza para subir una playa de 8° arrastrando la barrera con basura.
Velocidad de la cáscara	hasta 6,4 rad/s (61 rpm)	SIM	En el agua, con barrera: ≈ 0,2 m/s.
Inclinación del péndulo	±1 rad (±57°)	SIM	Servo: mediana 0,3–0,7 N·m, máximo 3,96 N·m.
Medio aro	radio 150 mm desde el centro, a la altura del eje, por detrás	SIM	15 cm: sale menos eje de la cáscara.
Eje	tubo de aluminio Ø 12 × 1,5 mm	CAD	Hueco: por adentro pasan los cables a la punta (carga y encendido).

A RESOLVER ANTES DE COMPRAR

El modelo 3D del 21-10 da 0,68 kg para lo que gira (cáscara, paletas, pista y eje): pasa el objetivo de 0,53 kg. Hay que alivianar la pista del ecuador (que era para el aro de la versión anterior y con el medio aro ya no hace falta) o las paletas, y volver a pesar en el CAD antes de imprimir.

Lista de materiales por Beto

Partes que se consiguen en Argentina o se imprimen en 3D. Los precios son de referencia en dólares ESTIMADO: hay que cotizar.

PARTE	QUÉ COMPRAR O FABRICAR	CANT.	USD
Domos de la cáscara	Media esfera de acrílico soplado Ø 250 mm, pared 1,5 mm, falda recta 10 mm sin pestaña (a medida, p. ej. Famad Acrílicos). Plano BETO-01	2	30–60
Anillo de unión	Impreso en PETG (BETO-02) + 2 O-rings de cuerda 2,62 mm, ≈ 240 mm de diámetro interior (serie AS568-1xx) + 8 tornillos M3	1	8
Paletas	Impresas en PETG (BETO-04), pegadas con epoxi	48	—
Soportes de polo	Impresos en PETG (BETO-03), pegados por dentro con epoxi	2	—
Eje	Tubo de aluminio Ø 12 × 1,5 mm (BETO-10; con el medio aro, más largo: sale 25 mm por cada polo)	1	5
Rodamientos	6801 (12 × 21 × 5): 2 en los polos, 2 en el yugo del péndulo	4	8
Retenes	De labio 12 × 22 × 5, por fuera de los rodamientos de los polos	2	4
Motor	Motorreductor JGB37-520, 12 V, 178 rpm, con encoder (1,8 kg·cm nominal, 7,2 kg·cm de arranque) FICHA	1	15
Transmisión	Poleas GT2 de 20 y 40 dientes + correa GT2 de 6 mm cerrada: reducción 2:1 → 0,35 N·m sostenido a 70 rpm y 1,4 N·m de arranque en la cáscara ESTIMADO	1 juego	8
Servo	DS5160 (65 kg·cm a 7,4 V, 0,15 s/60°, IP67, 160 g) FICHA	1	30
Placa	ESP32-S3 (radio incluida)	1	8
Driver del motor	Puente H de 12 V y 5 A	1	8
Sensor de orientación	BNO085 (rumbo e inclinación)	1	20
Batería	6 celdas 18650 en 3S2P (11,1 V, ≈ 5 Ah) + BMS 3S de 10 A	1	35
Reguladores	Reductor a 7,4 V / 5 A para el servo; reductor a 5 V / 2 A para la placa y el sensor	2	10
Encendido y carga	Interruptor magnético (reed) + conector estanco, en la punta del eje	1	10
Yugo y cuna del péndulo	Impresos en PETG (BETO-11 y BETO-12)	1 + 1	—
Lastre	2 chapas de acero en la cuna, hasta completar 2,3 kg de péndulo	2	5
Medio aro	Varilla de aluminio Ø 6 mm curvada en media circunferencia de radio 150 mm, con un brazo a cada punta del eje y un rulemán 6801 en cada brazo ESTIMADO	1	10
Carrito	Chapita de aluminio de 3 mm con 2 rodamientos de ranura en U (Ø 13 × 4 mm, para varilla de 6 mm), uno arriba y otro abajo de la varilla, y un ojal para la barrera	1	6
Marcador para la cámara	ArUco impreso y plastificado, arriba del medio aro (que no gira)	1	1
Filamento	PETG, ≈ 1 kg por Beto	1 kg	20

Varios	Epoxi apto agua, tornillería M3/M4 de acero inoxidable, cables siliconados, termocontraíble, grasa para O-rings	—	15
Total por Beto			≈ 255–290

La barrera (una para los dos)

PARTE	QUÉ ES	CANT. USD	
Flotadores	Tramos de espuma de Ø 70 mm («churro» de pileta de polietileno), de ≈ 22 cm, unidos por las puntas	9	10
Alma	Cabo de polipropileno de 8 mm que pasa por adentro de todos los tramos: 2 m entre los dos carritos <div>SIM</div>	2,4 m	3
Puntas	Mosquetón chico de inoxidable en cada punta, al ojal del carrito	2	4

Por qué así

SIM

: 2 m de largo, flotadores de 7 cm, 0,13 kg por metro. La barrera no pasa del medio aro: el aro hace de paragolpes y no deja que la barrera se enganche en las paletas.

05

La base y el dron

La base

Una caseta en la orilla, con el fondo apoyado en la playa y la boca en el borde del agua, donde los Betos dejan la basura. Medidas de la versión del video

ESTIMADO

: 1,9 m de fondo, 3,1 m de frente, 0,5 m de alto; portón de cortina de 3 m × 0,42 m que sube para que salgan; en el techo, la plataforma del dron con un agujero redondo de 60 cm (el dron mide 45 cm) cerrado por una compuerta de dos hojas que corren por debajo; dos tiras de paneles solares; una corriente suave en la boca que chupa la basura los últimos 50 cm.

Para la pileta no hace falta construirla: alcanza con una notebook, un ESP32 conectado por USB para la radio y una rampa de 5° a 8° saliendo del agua.

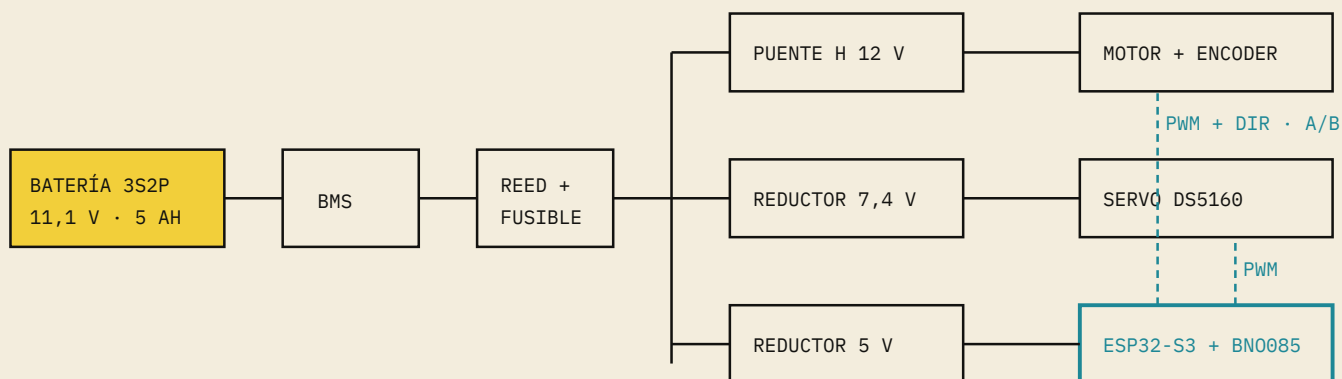
El dron (en la pileta: una cámara quieta)

En el sistema final el dron patrulla, detecta la basura con su cámara y vuelve a posarse en la base. **Para la pileta, una cámara o un celular arriba de un trípode alto** hace de dron quieto: ve la pileta entera, a los dos Betos (por el marcador ArUco del medio aro) y la basura. Con una cámara calibrada, los marcadores se ubican con unos ±3 cm a 3 m

ESTIMADO

: está dentro de los 5 cm que pide el cerebro. El rumbo se toma del BNO085, que es más preciso que el marcador para eso.

La electrónica



CONEXIONES. EN CIAN, LAS SEÑALES DE LA PLACA: PWM Y DIRECCIÓN AL PUENTE H, LAS DOS FASES DEL ENCODER, PWM AL SERVO, I²C AL BNO085 Y UN DIVISOR DE TENSIÓN PARA MEDIR LA BATERÍA.

SEÑAL	DESDE → HASTA	NOTA
Motor	ESP32 (PWM + DIR) → puente H → motor	PWM a 20 kHz para que no zumbe.
Encoder	Motor (fases A y B) → ESP32 (contador de pulsos por hardware)	Mide la velocidad de la cáscara (dividir por 2: la correa).
Servo	ESP32 (PWM 50 Hz) → DS5160, alimentado a 7,4 V	Tierra común con la placa.
Orientación	BNO085 ↔ ESP32 por I ² C	Montado en el yugo, que no gira con la cáscara.
Batería	Divisor 100 k / 33 k → entrada analógica	Avisa a la base por debajo de 10,5 V.
Encendido y carga	Por adentro del eje hasta la punta: reed + conector estanco	La cáscara no se abre para cargar.

El programa del Beto

- **Recibe** por radio (ESP-NOW) de la base, 10 veces por segundo: {AVANCE, GIRO}, cada uno entre -1 y 1.
- **Velocidad de la cáscara:** la pedida es $AVANCE \times 6,4 \text{ RAD/S}$; se mide con el encoder y se corrige con un control proporcional + integral, igual que en la simulación (MANEJAR() en TUTOR.JS). El par se limita para que el péndulo no dé la vuelta.
- **Inclinación:** el servo va a $-GIRO \times 57^\circ$.
- **Manda** a la base: rumbo (BNO085), velocidad de la cáscara, ángulo del péndulo y batería.
- **Seguridad:** medio segundo sin órdenes → motor en cero y péndulo derecho. Batería baja → avisa, y la base lo manda a la orilla.

```
// mensaje base → Beto (ESP-NOW, 6 bytes)
struct Orden { uint8_t beto; int16_t avance_milesimas; int16_t giro_milesimas; uint8_t vuelta; };
// mensaje Beto → base (12 bytes)
struct Estado { uint8_t beto; int16_t rumbo_decimas; int16_t vel_cascara_centesimas; int16_t pendulo_decimas; uint16_t bateria_mv; uint8_t vuelta; };
```

En la base corre el mismo programa de la simulación: la cámara da la posición de cada Beto y de la basura, la radio da el rumbo, y la red de las manos calcula las órdenes. La simulación se puede usar tal cual para probar todo esto en la pantalla antes de ir al agua: betos-peces.vercel.app.

Fabricación

Impresión 3D (PETG)

PIEZA

CÓMO IMPRIMIRLA

Paletas (48)	Acostadas sobre su cara, sin soportes; capa 0,2 mm, 3 perímetros, 100 % de relleno (son de 1,2 mm).
Anillo de unión	Parado, capa 0,16 mm en las ranuras de los O-rings; 4 perímetros, 40 % de relleno. Medir el diámetro interior real de los domos antes de imprimirlo y ajustar el modelo.
Yugo y cuna	Planos sobre la cama; 4 perímetros, 50 % de relleno (cargan 2,3 kg).
Soportes de polo	Con el alojamiento del rodamiento hacia arriba; ajuste a presión: probar primero una pieza chica.

Sellado

- Los dos domos entran 10 mm en el anillo de unión, cada uno sobre su O-ring (ranura según el manual de O-rings de Parker para cuerda 2,62 mm: 2,08 mm de profundidad, 3,6 mm de ancho) y con 4 tornillos M3 radiales del lado del agua.
- En cada polo: soporte pegado con epoxi por dentro del domo, rodamiento 6801 y, por fuera, el retén de labio 12 × 22 × 5 engrasado.
- Los cables salen por adentro del eje hueco; la punta del eje se cierra con el conector estanco y epoxi.

Armado

1. Imprimir todas las piezas y pesarlas. Anotar el peso real de cada una.
2. Pegar las 24 paletas de cada domo con epoxi, con la plantilla de 15° entre una y otra. Dejar curar 24 h.
3. Pegar los soportes de polo por dentro de cada domo, centrados en el agujero del polo.
4. Armar el péndulo afuera de la cáscara: yugo con sus dos rodamientos sobre el eje; motor, polea de 20 dientes, servo y placa en el yugo; la cuna colgada del servo con la batería y el lastre.
5. Cablear todo y probar en la mesa (ver pruebas 1 y 2) antes de cerrar.
6. Montar la polea de 40 dientes en el eje, trabada a los soportes de los polos (el eje gira con la cáscara), y la correa.
7. Calzar el anillo de unión con sus O-rings en un domo, entrar el conjunto del péndulo y cerrar con el otro domo. Atornillar.
8. Poner los retenes, los brazos del medio aro en las puntas del eje con sus rulemanes, el medio aro, el carrito y el marcador ArUco arriba del medio aro.
9. Atar la barrera a los dos carritos.

Pruebas, en este orden

1. **Mesa:** motor, encoder, servo y radio, sin cáscara. Ver que el control de velocidad siga la orden.
2. **Seguridad:** cortar la radio y ver que en medio segundo pare el motor y se enderece el péndulo.
3. **Estanqueidad:** la esfera cerrada y vacía, 30 minutos sumergida en un balde. Ni una gota adentro.

4. **Flotación:** armada, en el balde: tiene que quedar derecha y con unos 10 cm hundidos.
5. **Rodar en el piso:** avanzar, frenar y doblar a los dos lados.
6. **Un Beto en la pileta:** nadar derecho y medir la velocidad (la simulación dice $\approx 0,2$ m/s con barrera).
7. **Dos Betos con la barrera, sin basura,** manejados a mano desde la base.
8. **Con botellas en la pileta** y el cerebro de la base.
9. **Subir la orilla:** la rampa de 5° a 8° saliendo de la pileta, con la barrera y basura.
10. **Lago.**

11

Lo que todavía no está resuelto

- **El peso de lo que gira:** el CAD da 0,68 kg contra los 0,53 kg que pide la simulación (ver sección 03).
- **El medio aro todavía no tiene plano:** los planos del 21-10 son de la versión anterior, con un aro entero en el ecuador, imanes y gimbal. Para esta versión no se fabrican las hojas BETO-06, 07, 08, 09 y 13. El medio aro, sus brazos y el carrito están definidos en la simulación y en este documento; falta dibujarlos.
- **La estanqueidad de los polos:** con el medio aro el eje sale de la cáscara por los dos polos. Hay que probar los retenes en el balde antes que nada.
- **Los domos de acrílico:** conseguirlos de 250 mm y 1,5 mm de pared; si no, imprimir la cáscara en gajos.
- **La fuerza real del motor** con la correa, subiendo una rampa mojada.
- **La cámara del trípode:** cuánto rinde mirando la pileta entera.
- **El dron y la corriente de la boca de la base:** quedan para después de la pileta.

12

Archivos

ARCHIVO	QUÉ TIENE
planos_beto.pdf	13 hojas con vistas, cotas, cantidad y material de cada pieza (versión del 21-10; ver la sección 11 por las hojas que no se usan).
beto_v2.step	El Beto completo en 3D, para abrir en cualquier programa de CAD.
domo.step · anillo_union.step · aleta.step	Las piezas sueltas de la cáscara.
betos-peces.vercel.app	El video, la demo en vivo y la simulación.